

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Construção Civil

MARINA MILLANI OBA

O PROJETO DE READEQUAÇÃO VISANDO A CONSTRUÇÃO MAIS SUSTENTÁVEL NO EDIFÍCIO MODERNO:

Estudo de caso sobre o Centro Politécnico da UFPR

CURITIBA

2014

MARINA MILLANI OBA

O PROJETO DE READEQUAÇÃO VISANDO A CONSTRUÇÃO MAIS SUSTENTÁVEL NO EDIFÍCIO MODERNO:

Estudo de caso sobre o Centro Politécnico da UFPR

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná como requisito parcial à obtenção do título de Mestre.

Orientador Prof. Dr. Sergio Fernando Tavares.

CURITIBA

2014

Oba, Marina Millani

O projeto de readequação visando a construção mais sustentável no edifício moderno: estudo de caso sobre o Centro Politécnico da UFPR / Marina Millani Oba. – Curitiba, 2014.

131 f. : il.; grafs., tabs.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil.

Orientador: Sergio Fernando Tavares

1. Arquitetura moderna. 2. Arquitetura sustentável. 3. Edifícios históricos – Conservação e restauração. I. Tavares, Sergio Fernando. II. Título.

CDD: 711.57

MARINA MILLANI OBA

O PROJETO DE READEQUAÇÃO VISANDO A CONSTRUÇÃO MAIS SUSTENTÁVEL NO EDIFÍCIO MODERNO:

Estudo de caso sobre o Centro Politécnico da UFPR

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, Área de Concentração: Ambiente Construído e Gestão, Setor de Tecnologia, da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

Orientador:

Prof. Dr. Sergio Tavares
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil - UFPR

Examinadores:

Prof. Dr. Aloísio Leoni Schmid
Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil - UFPR

Prof^a. Dr^a. Maria do Carmo Duarte Freitas
Programa Pós-Graduação em Engenharia de Produção - UFPR

Prof. Dr. Antonio Manoel Nunes Castelnou, Neto
Departamento de Arquitetura e Urbanismo - UFPR

Curitiba, 14 de maio de 2014

Dedico este trabalho à minha família.

Agradeço

às colegas Ana Priscilla, Karoline, Isabella;
aos professores Aloísio, Antonio e Maria do Carmo;
ao professor orientador Sergio Tavares;

e a todos aqueles que contribuíram para
o desenvolvimento desta dissertação.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), entidade do Governo Brasileiro voltada para a formação de recursos humanos.

"Não é o trabalho, mas o saber trabalhar que é o segredo do êxito no trabalho."
Fernando Pessoa

RESUMO

As primeiras manifestações em prol da preservação de edificações enquanto bens culturais aconteceram já nas primeiras décadas de 1800. No entanto, até a década de 1960, tinha-se o interesse de preservar edificações datadas até o século XIX, o que permitiu a destruição de obras relevantes do patrimônio recente. Apenas no fim do século XX, é que a discussão sobre preservação da Arquitetura Moderna tomou dimensões internacionais. No Brasil, ações que visem a preservação de edifícios do Movimento Moderno, especialmente os menos icônicos, ainda são pontuais. O natural envelhecimento desse patrimônio construído tem levado a interferências que resultam na sua descaracterização; ou até demolição. A fim de discutir critérios de intervenção nesses edifícios, a dissertação explora como readequar um edifício moderno, por meio das perguntas-problema: o que são esses edifícios? como estão eles após mais de meio século de uso? e como proceder para promover uma permanência eficiente? Por meio de revisão bibliográfica, são levantadas características da produção moderna e critérios para sua preservação, relacionando-os ao edifício de análise: o Prédio de Ciências Exatas do Centro Politécnico da UFPR. Posteriormente, fazendo o uso do método de Análise de Ciclo de Vida Energético, os valores de consumo energético relacionados a construção, manutenção, alterações e operação de equipamentos são comparados entre si. Por fim, através de simulação computacional, são explicados os resultados das alterações no desempenho termoenergético do edifício, além de explorar outras soluções. Verificou-se que, no estudo de caso, não são aplicados critérios de preservação explorados na revisão bibliográfica. E que, em relação ao consumo energético, as alterações físicas foram poucos significativas, sendo o uso de equipamentos elétricos o maior responsável pelos gastos energéticos em 50 anos. Verificou-se ainda que as alterações realizadas não propiciam nem a redução da energia operacional, nem a preservação das características originais de projeto. O trabalho contribui para a discussão sobre a preservação do patrimônio recente. Não apenas em relação ao legado sociocultural, mas também à constituição de um meio construído ambientalmente mais sustentável.

Palavras-chave: Arquitetura Moderna, sustentabilidade, preservação, readequação, eficiência energética, análise de ciclo de vida energético, simulação.

ABSTRACT

Since the beginning of the XIX century, preservation concerns are applied to buildings. However, until the decade of 1960 only buildings built before 1800's were preserved, what led to the loss of relevant parts of the recent built legacy. Only in the late 19th century, the discussion about preservation of Modern Architecture arose to international dimensions. In Brazil, actions for the preservation of Modern Movement's buildings, especially less iconic ones, are still sporadic. The natural aging of this built legacy has led to interferences, resulting in its mischaracterization; or even demolition. Through literature review, features of modern production and criteria for its preservation were explored, relating them to what is observed in the case study building, the Flavio Suplicy de Lacerda building in the Polytechnic Centre of Federal University of Paraná. Subsequently, through the method of Life-Cycle Assessment of Energy, the values of energy consumption related to construction, maintenance, modifications, and operation of equipment are compared. Finally, through computer simulation, the thermoenergetic and natural lightning performances of the building after 50 years of use are explained, in addition to exploring solutions of implementations. It was found that, in the case study, preservation criteria explored in the bibliographic review are not applied. And that, in relation to energy consumption, the physical changes were irrelevant comparing to the energy consumed in the use of electric equipment. It was also found that changes made do not promote the reduction of the operating energy consumption, or the preservation of the original design features. The work contributes to the discussion on the recent preserving heritage. Not only in relation to its socio-cultural values, but also to the establishment of a more environmentally sustainable built environment.

Keywords: *Modern Architecture, sustainability, preservation, rehabilitation, energy efficiency, life-cycle assessment of energy, simulation.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Mapa mental (AUTORA, 2014).....	27
Figura 2	Diagrama de estudo da relação entre altura e afastamento de edificações apresentado por Walter Gropius no 3º CIAM, em 1930 (GONSALES, 2010, p.7).....	40
Figura 3	Esquemas de cozinhas Frankfurt (MOMA, 2013)	41
Figura 4	Painéis pré-fabricados do Conjunto Habitacional de Lignon, de G. Addor (METMUSEUM, 1995), caso de readequação descrito por Graf e Marino (2011).....	41
Figura 5	Implantação do Conjunto de Lignon, Georges Addor, 1936-1971 (DESCONEXO, 2011).	42
Figura 6	Phillis Wheatley Elementary School, escola exclusiva para afrodescendentes em New Orleans, por Charles Colbert, 1954 (LIFE WITHOUT BUILDINGS, 2008).....	51
Figura 7	Protesto durante a demolição da Phillis Wheatley Elementary School, Louisiana (NOLA, 2011).....	51
Figura 8	Vista superior do modelo do conjunto (BARANOW e SIQUEIRA., 2007).	55
Figura 9	Foto aérea mostrando a organização do complexo (GOOGLE EARTH, 2013).	56
Figura 11	Mural "O culto da tecnologia" de Poty Lazzarotto (AUTORA, 2012)	58
Figura 12	Um dos pátios entre blocos (acervo pessoal, 2012).....	58
Figura 13	Atelier do curso de Arquitetura e Urbanismo (AUTORA, 2012)	59
Figura 14	- Modificações no conjunto. (AUTORA, 2012).....	60
Figura 15	- Ocupação dos pátios abertos por áreas técnicas (AUTORA, 2012).	61
Figura 16	Energia consumida no ciclo de vida da edificação (esquema baseado em YOHANIS e NORTON, 2002).....	66
Figura 17	Situação do bloco selecionado para ACVE (em destaque) dentro do campus da UFPR (AUTORA, 2014).	68

Figura 18	Plantas do conjunto de blocos do Curso de Arquitetura e Urbanismo da UFPR. Em destaque, o bloco objeto da ACVE (AUTORA, 2014).	69
Figura 19	Estratégia do trabalho (AUTORA, 2014)	70
Figura 20	Isométrica do bloco analisado. (AUTORA, 2014)	72
Figura 21	- Carta Bioclimática de Curitiba (GOULART, LAMBERTS <i>et</i> FIRMINO, 1998).	80
Figura 23	- Corte esquemático do bloco didático do curso de Arquitetura. (AUTORA, 2014).	82
Figura 24	- A modulação dos brises permite passagem de luz direta, conforme foto do bloco do curso de Arquitetura (AUTORA, 2012).	83
Figura 25	- Ocupação dos pátios abertos: vista da estufa no bloco de Arquitetura (AUTORA, 2012).	84
Figura 26	- Vista do edifício da Administração: coberturas escurecidas (AUTORA, 2012).	84
Figura 27	- Plantas do conjunto de blocos do Curso de Arquitetura e Urbanismo da UFPR. (AUTORA, 2014).	85
Figura 28	- Perspectiva em isométrica do trecho simulado do edifício. (AUTORA, 2014).	86
Figura 29	- Geometria construída no Sistema Mestre (SCHMID e GRAF, 2011).	87
Figura 30	- Esquema funcional e dimensional de uma unidade de recuperação de calor (AUTORA, 2014).	92
Figura 31	- Isométrica da fachada norte. Em amarelo no diagrama, a sala de aula PD07, objeto de estudo (AUTORA, 2014).	98
Figura 32	- Organização do mapa de iluminância (lux). (AUTORA, 2014).	99
Figura 33	- Corte esquemático mostrando o sistema de iluminação natural original (AUTORA, 2014).	103
Figura 34	- Corte esquemático mostrando como a iluminação natural da sala funciona após 50 anos da sua construção (AUTORA, 2014).	104

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Temperaturas estimadas para 15/07 sem implementações - estado original (AUTORA, 2014).....	88
Gráfico 2 - Temperaturas estimadas para o dia 15/07 com sistema de aquecimento (AUTORA, 2014).....	89
Gráfico 3 - Consumo energético diário com sistema de aquecimento (AUTORA, 2014).	90
Gráfico 4 - Temperaturas estimadas para o dia 15/07 com sistema de aquecimento e vidros duplos (AUTORA, 2014).	91
Gráfico 5 - Consumo energético diário com sistema de aquecimento e vidro duplo (AUTORA, 2014).....	92
Gráfico 6 - Temperaturas estimadas para o dia 15/07 com sistema de aquecimento, vidros duplos e ventilação com recuperação de calor (AUTORA, 2014). ...	93
Gráfico 7 - Consumo energético diário com sistema de aquecimento, vidros duplos e ventilação com recuperação de calor (AUTORA, 2014).....	93
Gráfico 8 - Mapa de iluminância da PD07 no estado atual (AUTORA, 2014).....	100
Gráfico 9 - Mapa de iluminância da PD07 com bandeja pintada e os brises limpos (AUTORA, 2014).....	101
Gráfico 10 - Mapa de iluminância da PD07 com a bandeja pintada, os brises limpos e o forro original (AUTORA, 2014).....	102

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Estrutura de organização da pesquisa	28
Quadro 2 - Estrutura de organização da Conceituação (Capítulo 2)	30
Quadro 3 - Estrutura de organização da Análise do Ciclo de Vida Energético (Capítulo 3).....	32
Quadro 4 - Estrutura de organização da avaliação de desempenho termoenergético e lumínico (Capítulo 4)	35
Quadro 5 - Estrutura de organização da Conceituação e principais resultados (Capítulo 2).....	107
Quadro 6 - Estrutura de organização da Análise do Ciclo de Vida Energético e principais resultados (Capítulo 3).	109
Quadro 7 - Estrutura de organização da avaliação de desempenho termoenergético e lumínico e principais resultados (Capítulo 4).....	111
Quadro 8 - Síntese das três partes (AUTORA, 2014).....	113

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Materiais de construção considerados na ACVE	73
Tabela 2	Inventário de equipamentos	73
Tabela 3	Energia embutida (MJ)	74
Tabela 4	Consumo energético por equipamentos em 50 anos (MJ)	74
Tabela 5	Consumo energético total em 50 anos (MJ)	75
Tabela 6	Consumo energético discriminado em 50 anos (MJ)	76
Tabela 7	- Consumos diários e mensais (25 dias úteis) em quilowatts-hora (kWh) para climatização (AUTORA, 2014).....	94
Tabela 8	- Número de horas diárias de mensais de funcionamento do sistema de climatização (AUTORA, 2014).....	95
Tabela 9	- Consumos diários x horas de funcionamento em quilowatts-hora (AUTORA, 2014).....	96
Tabela 10	- Consumos em MJ para climatização do bloco didático (AUTORA, 2014). 96	
Tabela 11	Consumo energético discriminado em 50 anos (MJ), apresentado na Tabela 6, somado aos dados de consumo para climatização em 50 anos (AUTORA, 2014).....	97
Tabela 12	Consumo energético total estimado em 50 anos (MJ) (AUTORA, 2014)....	97
Tabela 13	- Dados de iluminância da PD07 no estado atual em lux (AUTORA, 2014).	100
Tabela 14	- Dados de iluminância (lux) da PD07 com a bandeja pintada e os brises limpos (AUTORA, 2014).....	101
Tabela 15	- Dados de iluminância (lux) da PD07 com a bandeja pintada, os brises limpos e o forro original (AUTORA, 2014).....	102

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACV	Análise de Ciclo de Vida
ACVE	Análise de Ciclo de Vida Energético
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers</i>
BEN	Balanco Energético Nacional
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
COE	<i>Council of Europe</i>
CP	Centro Politécnico
DOCOMOMO	<i>International Working Party for Documentation and Conservation of Buildings, Sites and Neighbourhoods of the Modern Movement</i>
EE	Energia Embutida
EO	Energia Operacional
HVAC	<i>Heating, Ventilation and Air Conditioning</i>
ICCROM	<i>International Centre for the Study of Preservation and Restoration of Cultural Property</i>
ICOM	<i>International Council of Museums</i>
ICOMOS	<i>International Council on Monuments and Sites</i>
IEP	Instituto de Engenharia do Paraná
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
NoPa	Programa de Novas Parcerias Brasil e Alemanha da CAPES
NPS	<i>National Park Service</i>
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
PCU	Prefeitura da Cidade Universitária
PMV	<i>Predicted Mean Vote</i>

PPGECC	Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil
PVC	Policloreto de vinila
RTVE	<i>Radio y Televisión Española</i>
TCPO	Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos
UFPR	Universidade Federal do Paraná
UNESCO	<i>United Nations Educational, Scientific and Cultural Organizations</i>

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	18
1 MÉTODO	21
1.1 Problema	21
1.2 Objetivos	21
1.3 Pressupostos.....	22
1.4 Justificativa	22
1.5 Contextualização no programa	25
1.6 Estratégia de pesquisa.....	26
1.6.1 Sobre a conceituação (Capítulo 2).....	29
1.6.2 Sobre a Análise do Ciclo de Vida Energético (Capítulo 3).....	31
1.6.3 Sobre a avaliação de desempenho termoenergético e lumínico (Capítulo 4)	33
2 CONCEITUAÇÃO.....	37
2.1 A produção arquitetônica do Movimento Moderno	38
2.1.1 O contexto	38
2.1.2 A caracterização	39
2.1.3 No Brasil	43
2.2 A preservação da Arquitetura Moderna.....	45
2.2.1 Os empecilhos à preservação	47
2.2.2 O processo de seleção	49
2.2.3 Os critérios de aplicação	52
2.3 O caso do Centro Politécnico	54
2.3.1 O contexto	54
2.3.2 O projeto.....	54
2.3.3 Após 50 anos.....	59

2.3.4	A preservação	62
3	ANÁLISE DO CICLO DE VIDA ENERGÉTICO.....	65
3.1	Fundamentação.....	65
3.1.1	Análise de Ciclo de Vida em edificações.....	65
3.1.2	Análise de Ciclo de Vida Energético (ACVE) em edificações	66
3.2	Método.....	67
3.3	Resultados.....	72
3.3.1	Inventário	72
3.3.2	Cálculo da energia embutida	74
3.4	Análise crítica.....	75
4	ANÁLISE DO DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO E LUMÍNICO	78
4.1	Método	78
4.2	Descrição das condições climatológicas locais	79
4.3	Análise do desempenho térmico	81
4.3.1	Simulação térmica de parte do bloco didático	85
4.3.2	Resultados	94
4.4	Análise do aproveitamento da luz natural	98
4.4.1	Simulação de aproveitamento de luz natural na sala PD07	99
4.4.2	Resultados	103
5	CONCLUSÕES.....	106
6	REFERÊNCIAS.....	119
7	FONTES DE ILUSTRAÇÕES	130

INTRODUÇÃO

Junto ao crescimento das populações e das cidades, e à consequente demanda por espaços, residem as preocupações em torno de maneiras mais eficientes de construir, da preservação do ambiente e da conservação de fontes naturais. As novas construções, resultantes dessa demanda, precisam de um local de implantação, e isto significa tomar o lugar ou de áreas livres ou já ocupadas por edificações anteriores. Em ambos os casos, os impactos decorrentes não se limitam a aspectos ambientais, influenciando também esferas sociais e culturais de uma comunidade, o que leva à discussão do que se preservar.

Em termos mundiais, as primeiras manifestações em prol da preservação de edificações como monumentos históricos aconteceram já nas primeiras décadas de 1800. No entanto, eram objeto dessa preocupação apenas exemplares da Antiguidade, obras religiosas da Idade Média e alguns castelos (CHOAY, 2006). Até a década de 1960, tinha-se o interesse de preservar edificações datadas até o século XIX, o que permitiu a destruição de obras que no fim do século XX seriam tombadas. Com a criação de entidades de proteção e documentos internacionais, no fim do século XX, a discussão sobre preservação da Arquitetura Moderna¹ tomou dimensões internacionais.

Passado quase um século desde a concepção e materialização dessa produção, há estruturas e conceitos que se encontram defasados em relação às expectativas da contemporaneidade. Como esses exemplares da Arquitetura Moderna têm de origem motivações ligadas à função e à eficiência, pode-se dizer que mantê-los em funcionamento significa respeitar os conceitos originais de projeto (PRUDON, 2008). Nesse sentido, a readequação apresenta-se como estratégia de preservação para o legado moderno.

No Brasil, ações de readequação que visem a preservação de edifícios modernos, especialmente aqueles menos icônicos, ainda são pontuais. O natural envelhecimento desse patrimônio construído tem levado a interferências sem critério que muitas vezes resultam na sua descaracterização, ou até na sua demolição.

¹ Neste trabalho, *Arquitetura Moderna* não equivalente à ideia comum de produção atual ou contemporânea; mas à corrente de tendência internacional baseada nas vanguardas europeias de princípios do século XX (no período entre-guerras), que se desenvolve e se internacionaliza a partir da década de 1930; conforme será abordado na sequência do trabalho.

Nas regiões mais frias da Europa, a tecnologia permite estender o ciclo de vida de edifícios velhos, e oferecer condições de habitabilidade mais próximas dos padrões contemporâneos, através de medidas mais ou menos agressivas (GRAF e MARINO, 2011). Há casos em que, a fim de se potencializar as propriedades de isolamento térmico das vedações externas ou de se reduzir a perda de calor, as melhorias incluem a substituição de elementos originais de fenestração, acabamento, isolamento térmico, sistemas de aquecimento ou resfriamento, e de outros que demonstrem desempenho inferior às expectativas atuais.

No Brasil, a questão de preservação e eficiência surgiu mais recentemente e assumiu, na maior parte dos casos, características peculiares. Destacam-se três razões para essa diferenciação. Primeiramente, porque responde mais comumente ao clima tropical, já que este clima abrange maior parte das áreas urbanizadas do país (principalmente região sudeste e centro-oeste). Em segundo lugar, porque está relacionada a edifícios públicos, sendo o Estado responsável por mais de 40% do total das construções executadas (IBGE, 2010) e pelos recentes incentivos oferecidos em troca dessa efficientização (BRASIL, 2011a). Por fim, porque está relacionada a edifícios modernos, que compõem a grande parte do estoque construído no país.

Assim, o presente trabalho permeia essas duas necessidades: de preservação de uma produção arquitetônica relevante em termos socioculturais e da sua adaptação às expectativas contemporâneas. Confrontar desempenho ambiental e valor patrimonial faz-se necessário para garantir a permanência da herança arquitetônica ainda em uso, minimizando eventuais interferências negativas ao meio e às relações sociais.

Nesse sentido, são exploradas três estratégias de abordagem sobre a problemática de readequação de edifícios modernos. Todas elas exploram o que são estes edifícios, como estão passado mais de meio século desde a sua construção e como deve-se proceder em busca de uma readequação sustentável em termos ambientais e sociais. As discussões se dão sobre um edifício da Arquitetura Moderna de Curitiba: o Edifício Flávio Suplicy de Lacerda, conhecido como prédio de Ciências Exatas, no Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná (UFPR), projeto de Rubens Meister (1929-2009), inaugurado em 1961, ainda em uso, e íntegro.

1

1 MÉTODO

Este capítulo descreve como o trabalho se organiza, especificando problema, objetivo, pressupostos, estratégia e demais elementos estruturais do trabalho.

1.1 Problema

A presente dissertação trata do problema geral de como readequar² um edifício moderno. Três questões mostraram-se fundamentais durante essa exploração. São elas:

- a) o que são essas edificações?
- b) como estão essas edificações ao atingir mais de 50 anos de uso?
- c) como se deve proceder para um desempenho energético mais eficiente?

Cada uma dessas perguntas foi abordada sob três enfoques distintos, como descrito no subcapítulo 1.6.

1.2 Objetivos

Tem-se como objetivo geral desse trabalho explorar a prática contemporânea de readequação do patrimônio arquitetônico moderno: descrevendo elementos envolvidos e métodos de abordagem relacionados à eficiência energética e ao conforto térmico e lumínico.

De modo específico, pretende-se explorar cada uma das questões-problema. Como resposta à primeira questão ("o que são?"), descreve-se as intenções de projeto, o desempenho original da edificação e seus problemas. Identificadas as motivações, descreve-se as modificações implementadas e as suas consequências, respondendo à segunda questão ("como estão?"). Por fim, elenca-se critérios qualitativos e quantitativos relacionados ao desenvolvimento do projeto de readequação do patrimônio moderno, respondendo à terceira pergunta ("como proceder?").

² Readequar, neste trabalho, diz respeito a modificações que visam a adaptação de um edifício aos níveis contemporâneos de exigência, em relação a desempenho energético, material, lumínico, térmico e de conforto ambiental; preservando as características relativas ao seu valor histórico e cultural; sendo que o uso, em sua essência, é mantido o mesmo (conforme será abordado posteriormente no trabalho).

1.3 Pressupostos

Três pressupostos embasam essa pesquisa.

O primeiro deles é que edifícios Modernos em estágio avançado de vida, como qualquer outro, apresentam deficiências de desempenho.

O segundo é que as modificações implementadas nos edifícios Modernos são respostas a esses problemas de desempenho: sejam eles energético, de conforto ambiental, de deterioração material ou de obsolescência.

O terceiro pressuposto é que essas implementações não precisam ser contrárias às intenções de preservação, podendo significar a extensão do seu ciclo de vida.

1.4 Justificativa

Segundo a Organização Mundial da Saúde (WHO, 2014), em 2014 a parcela de residentes em ambientes urbanos já ultrapassa 50% da população mundial. O crescimento dessa população das cidades tem se mantido perto de 2% ao ano, quase o dobro da velocidade de crescimento da população total (1,2%). Esse aumento traz consigo uma maior demanda de espaços e aumenta a complexidade das relações urbanas. Assim, a discussão sobre o ambiente construído, enquanto resultado da ação antrópica sobre o meio, e o seu planejamento são decisivos na busca de um desenvolvimento mais sustentável.

O Relatório Brundtland (1987) define o desenvolvimento sustentável como aquele que satisfaz as necessidades presentes sem comprometer a satisfação das necessidades de gerações futuras. Sucessivos acordos internacionais (Livro Verde sobre o Meio Ambiente Urbano, 1990; Cúpula da Terra, 1992; Conferência Habitat, 1996; Conferência de Kyoto sobre o aquecimento global, 1997; Conferência de Haia sobre mudanças climáticas, 2000; Cúpula de Johannesburgo sobre o desenvolvimento sustentável, 2002) tecem orientações para atingí-lo. Além de tratar do controle da poluição ambiental e do aumento da eficiência no uso de recursos, incentivam a análise do ciclo de vida completo de um produto (EDWARDS, 2008), que deve englobar "desde a aquisição da matéria-prima ou geração de recursos naturais à disposição final" (ABNT, 2009). No caso das edificações, desde a extração e produção dos

materiais, passando por sua construção e operação, até o seu descarte ou sua reutilização.

No Brasil, a construção civil encontrava-se, em 2011, no seu melhor momento no Brasil desde 24 anos, com taxa de crescimento de 11,6% (DIEESE, 2011), o que justificou investimentos e políticas de incentivos à construção realizados pelo governo, como as obras do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) e a redução de impostos de 41 insumos (como cimento e aço). Essencial ao desenvolvimento no país, as atividades relacionadas à construção civil são responsáveis por mais de 3,2 milhões de empregos diretos e indiretos (SINDUSCON-SP e FGV, 2013).

Por outro lado, essa movimentação veio acompanhada de impactos ambientais negativos relevantes. O setor é responsável pelo maior consumo dos recursos naturais, se tomarmos a produção dos insumos utilizados, a execução da obra e a sua operação ao longo do tempo. No Brasil, esse consumo representa 75% de tudo que é extraído do meio ambiente (LEVY, 1997; PINTO, 1999; JOHN, 2000). Além dos insumos, destaca-se também o consumo energético e os produtos gerados no processo, relacionados à construção civil. Em termos mundiais, o setor da construção civil é responsável pelo consumo de 50% dos recursos naturais (EDWARDS, 2005). No Brasil, de acordo com o Balanço Energético Nacional (BEN), só a fabricação de cimento, cerâmica, ferro-gusa e aço ultrapassa 10% de todo o consumo energético nacional, e os edifícios são responsáveis por 44% de todo o consumo energético do país (BRASIL, 2011b).

Como o crescimento do setor, segundo dados da Pesquisa Anual da Indústria da Construção de 2009 (IBGE, 2010), é impulsionado em grande parte pelo próprio governo, responsável por mais de 40% do total das construções executadas, existe uma mobilização por parte do Estado pela efficientização das obras e dos edifícios públicos em relação ao desempenho ambiental. Os incentivos estão ligados à melhoria dos sistemas de iluminação, climatização e força motriz existentes; à melhoria na envoltória da edificação; ou ainda à redução no consumo de energia elétrica (BRASIL, 2011a). O Código Legislativo da eficiência energética nos prédios públicos federais determina, na Resolução 492/2002 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que 0,5% da receita operacional líquida anual das concessionárias de energia elétrica deve ser aplicada no "desenvolvimento de ações com o objetivo de incrementar a eficiência energética no uso final da energia elétrica" (BRASIL, 2008). Para obter este auxílio, as instituições devem seguir o roteiro de procedimentos indicados pelo Manual

de Instruções para Projetos de Eficiência Energética nos Prédios Públicos (BRASIL, 2011a). Além desta medida, desde o ano 2000, decretos federais têm regulamentado metas de redução gradual de consumo energético nessas edificações. Através dessas medidas, segue-se a tendência internacional de considerar o edifício existente não como bem descartável, mas matéria-prima objeto de interferências construtivas.

A vida útil de uma edificação é longa e, com o passar do tempo, é natural que os padrões de necessidades e conforto, constantemente em mudança, não sejam totalmente atendidos pelas construções existentes. Interferências arbitrárias podem não apenas comprometer a unidade arquitetônica, mas também o desempenho ambiental da edificação. São necessárias soluções tecnológicas para a adaptação de edificações e restauro de suas qualidades materiais. Apesar dessas intervenções nem sempre representam solução total do problema, o descarte da edificação antiga e sua consequente substituição por uma nova implicam em significativos impactos, tanto econômicos quanto sociais e ambientais. A contaminação dos solos, a geração de resíduos, a mobilização de recursos e a perturbação do entorno são apenas algumas das deficiências envolvidas nesse processo (BULLEN e LOVE, 2011). Zein e DiMarco (2008) enfatizam que as destruições do valor social de algumas edificações e do contexto que elas compõem podem ser irreparáveis.

Propostas alternativas à demolição colaboram com a integridade do meio natural e urbano e das relações econômicas e sociais. Essa temática tem se tornado mais frequente nos últimos anos (PRUDON, 2011) assim como o seu reconhecimento como estratégia pelo desenvolvimento sustentável (BULLEN e LOVE, 2011). No entanto, o reconhecimento do valor de preservação de edificações modernas ainda é frágil.

Desta forma, esta pesquisa pode ser justificada porque oferece contribuições sociais, ambientais, tecnológicas e econômicas. Sociais, por preconizar a preservação de edificações com valores históricos e referenciais; e das relações espaciais no ambiente construído. Ambientais, por explorar o consumo energético da manutenção de edificações existentes e de seu impacto sobre o meio ambiente. Tecnológicas, por descrever métodos e ferramentas que possibilitem a adaptação dessas edificações a padrões contemporâneos de conforto ambiental e eficiência energética. E econômicas, porque a reutilização ou o descarte de edificações implicam diretamente em um dos setores mais significativos da economia mundial: a construção civil.

1.5 Contextualização no programa

Neste subitem são relacionadas as pesquisas do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil (PPGECC) da UFPR que possuem alguma afinidade com o presente trabalho.

O desempenho ambiental de materiais, técnicas e tecnologias construtivas e edificações é uma temática recorrente, já que há trabalhos que abordam a análise de ciclo de vida de materiais, de mobiliário e de edificações (MARCOS, 2009; DRUSZCZ, 2002; LOBO, 2010b; MARCHESINI, 2013). Já Guimarães Junior (2007) trata da fase final dos ciclos, o gerenciamento de resíduos da construção civil. Na linha de técnicas e tecnologias construtivas, tem-se trabalhos sobre coberturas verdes (NASCIMENTO, 2008; BALDESSAR, 2012), reutilização de águas pluviais e redução do consumo de água (CHAVES, 2003; AGUIAR, 2008; SANT'ANNA, 2010), construção em madeira (CASTRO, 2008).

Sobre avaliação de desempenho, há trabalhos sobre desempenho acústico (LORO, 2003; ZWRITES, 2006; ROCHA, 2010; WINK, 2010), térmico (GRAF, 2011), conforto ambiental relacionado a materiais de acabamento em ambientes internos (ZALESKI, 2006) e certificação ambiental (LOBO, 2010a; HILGENBERG, 2010). Já a respeito da aplicação de instrumentos da tecnologia de informação na construção civil e também na avaliação de desempenho de edificações, tem-se os trabalhos de Ito (2007), Oliveira (2009), Ayres Filho (2009) e, novamente, Marcos (2009).

Em se tratando da adequação de edificações existentes, há uma maior recorrência de trabalhos sobre reparos estruturais (LATORRE, 2002; LEONARDO, 2002; BRAGA, 2003; MEDEIROS, 2005; LACERDA, 2007). No entanto, foram também trabalhados o reparo em alvenarias de vedação (TAGUCHI, 2010) e a adaptação espacial (LARCHER, 2005; STRAPASSON, 2011). Ainda na mesma temática, mas já com alguma intersecção com o caráter de preservação, tem-se a dissertação de Garmatter Netto (2002) sobre a proteção contra incêndios de edificações de interesse de preservação no Centro Histórico de Curitiba.

Destaca-se ainda a pesquisa de Machado (2008), com o título "O tratamento de aspectos de conforto térmico em residências do período modernista em Curitiba" por trabalhar em edificações com interesse de preservação o conceito de conforto ambiental. Outro trabalho que se destaca na mesma linha é o de Mazzarotto (2011) que estuda o sistema de fachadas duplas ventiladas e, como estudo de caso, verifica a

sua aplicação em um edifício moderno em Curitiba da década de 1970: o prédio do Instituto de Engenharia do Paraná (IEP), com projeto dos engenheiros Rubens Meister (arquitetônico) e Venevêrito da Cunha (estrutural).

Pode-se dizer, desta forma, que a readequação de edificações é um tema cuja ocorrência é frequente dentro do PPGECC, dando mais atenção a aspectos técnicos e tecnológicos. No entanto, a exploração a respeito da aplicabilidade de conceitos de sustentabilidade e preservação num ambiente já construído, com interesse de preservação e ainda em uso, mesmo que de maneira deficiente, confere a este trabalho certa originalidade dentro do programa.

1.6 Estratégia de pesquisa

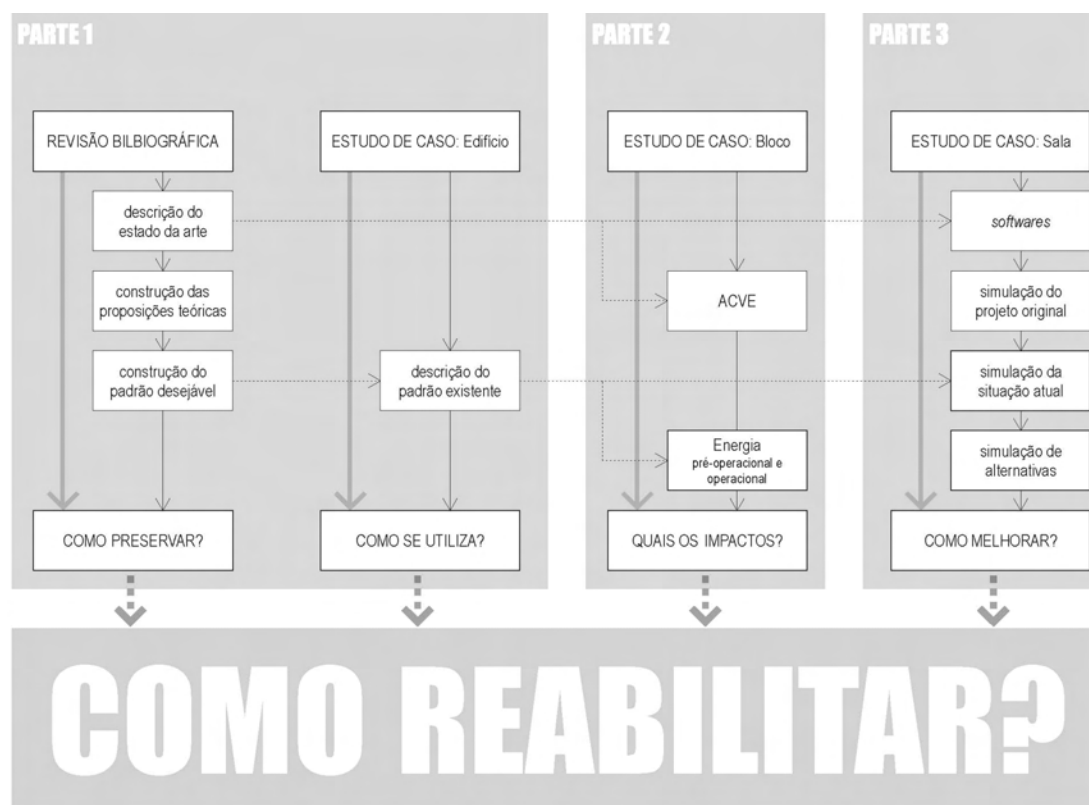
Investiga-se, neste trabalho, um fenômeno contemporâneo cujas condições contextuais são fundamentais: como lidar com o envelhecimento de edificações do século XX com interesse de preservação na contemporaneidade. Assim, como sugerido por Yin (2006), adotou-se o estudo de caso como estratégia de pesquisa.

Como objeto, foi selecionada uma única edificação, obra da Arquitetura Moderna curitibana ainda em pleno uso: o edifício das Ciências Exatas do Centro Politécnico, projetado por Rubens Meister (1922-2009) e inaugurado em 1961. A escolha se deu pela relevância arquitetônica e histórica do conjunto; pela proximidade e facilidade na obtenção de dados, já que ali se localiza a sede do PPGECC da UFPR; e pelos recém completados 50 anos desde a inauguração do *campus* e do Curso de Arquitetura e Urbanismo. Além disso, durante os anos de 2012 e 2013, o edifício foi um dos objetos de estudo do projeto de pesquisa "Restauração do edifício público brasileiro: eficiência energética e sustentabilidade urbana"; fruto do programa Novas Parcerias Brasil & Alemanha (NOPA), em que a autora esteve envolvida.

Apesar de adotadas as modificações físicas na edificação como unidade de análise, estas podem ser categorizadas e avaliadas de formas diferentes. Uma alteração pode, por exemplo, significar aumento na energia embutida da edificação, melhorias no desempenho térmico ou comprometimento da integridade arquitetônica do conjunto.

Conforme o mapa mental abaixo (Figura 1), o trabalho é estruturado em três partes, complementares entre si, as quais abordam um mesmo problema, a readequação, sob enfoques distintos, conforme as estratégias descritas mais adiante.

Figura 1 Mapa mental (AUTORA, 2014).



Para garantir a validade do constructo do trabalho, as evidências para o estudo de caso foram coletadas de fontes distintas. Primeiramente, foram analisados a documentação de projeto e os registros da instituição responsável por esse edifício, a Prefeitura da Cidade Universitária (PCU) da UFPR. Associada a isso, a observação direta se fez fundamental, principalmente pela escassez e superficialidade de informações obtidas da primeira fonte. Estas duas fontes compõem, juntamente à revisão bibliográfica, as bases para a primeira parte: a conceituação.

A segunda e a terceira etapas são baseadas nos resultados da primeira. Cada uma delas explora maneiras distintas de se responder ao problema original de "como reabilitar um edifício Moderno". Ambas dizem respeito ao ciclo de vida da edificação, buscando soluções mais adequadas para se estender a sua vida útil de maneira sustentável: uma explorando o consumo energético, e a outra as condições de conforto térmico e lumínico.

A matriz apresentada a seguir (Quadro 1) mostra a estrutura do trabalho: os três problemas e os três objetivos gerais são explorados de maneira diferente em cada um dos capítulos.

Quadro 1 - Estrutura de organização da pesquisa

PROBLEMA	OBJETIVO	UNIDADE DE ANÁLISE		
		Parte 1 (Cap. 2)	Parte 2 (Cap. 3)	Parte 3 (Cap. 4)
<i>O que são?</i>	<i>Descrever desempenho original e identificar problemas.</i>	Projeto arquitetônico e contexto histórico.	Ciclo de vida energético.	Desempenho termoenergético e lumínico.
<i>Como estão?</i>	<i>Descrever as modificações e suas consequências.</i>			
<i>Como proceder?</i>	<i>Explorar critérios intervenção.</i>	CrITÉRIOS qualitativos.	CrITÉRIOS quantitativos de energia operacional e pré-operacional.	CrITÉRIOS quantitativos de conforto térmico e lumínico.

1.6.1 Sobre a conceituação (Capítulo 2)

As edificações do Período Moderno encontram-se em estágio de vida avançado. Além da documentação dessa produção, é relevante explorar diretrizes qualitativas para o balizamento das transformações físicas visando sua permanência.

Nesse sentido, o capítulo 2 inicia-se com uma revisão bibliográfica sobre a preservação deste patrimônio recente. Trata-se de um embasamento teórico aplicável de maneira genérica à produção arquitetônica moderna. As perguntas permanecem as mesmas citadas anteriormente: "o que são?", "como estão?" e "como proceder?". Ou seja, primeiro caracteriza-se esse patrimônio; explora-se as dificuldades na sua preservação; e, por fim, elenca-se critérios qualitativos de preservação. Critérios estes que, devido a peculiaridades materiais, conceituais e temporais características da produção arquitetônica do Movimento Moderno, são distintos dos recomendados a obras de períodos anteriores.

Após essa revisão teórica, os mesmos questionamentos são aplicados ao estudo de caso selecionado. As perguntas "o que é?", "como está?" e "como proceder?" são respondidas por meio da observação direta, comparando o que é constatado *in loco* com as construções teóricas delimitadas anteriormente. Esta primeira parte serve de base para as subsequentes, que analisam a readequação de maneira quantitativa. O quadro a seguir (Quadro 2) apresenta a sua estrutura.

Quadro 2 - Estrutura de organização da Conceituação (Capítulo 2)

PROBLEMA	OBJETIVO	MÉTODO	UNIDADE DE ANÁLISE	RESULTADOS
<i>O que são?</i>				
Quais as características do legado moderno?	Descrever características gerais dessa produção.	Revisão bibliográfica.	Características físicas e contextuais gerais da produção.	
Quais as dificuldades em preservá-lo?	Explicar motivos que levam à sua descaracterização.	Revisão bibliográfica.	Modificações físicas e críticas aos edifícios.	
O estudo de caso se enquadra nas características do legado moderno?	Verificar compatibilidade com as características levantadas.	Observação direta e levantamento de dados sobre o projeto.	Características físicas e contextuais do estudo de caso.	
O estudo de caso apresenta as dificuldades de preservação?	Verificar existência de problemas de desempenho.	Observação direta.	Modificações físicas no estudo de caso.	
<i>Como estão?</i>				
Quais as modificações que vão contra a preservação?	Verificar se as modificações negam as características originais do projeto.	Observação direta.	Modificações físicas.	
Quais as consequências dessas modificações?	Descrever problemas ligados à essas modificações.	Observação direta.	Alterações físicas contrárias às características.	
<i>Como proceder?</i>				
Quais as recomendações gerais?	Descrever critérios gerais.	Revisão bibliográfica.	Critérios qualitativos de preservação.	
Quais as recomendações para o estudo de caso?	Aplicar os critérios gerais ao estudo de caso.	Revisão bibliográfica e análise dos resultados anteriores.	Critérios qualitativos de preservação aplicados ao estudo de caso.	

1.6.2 Sobre a Análise do Ciclo de Vida Energético (Capítulo 3)

A preservação do estoque de edificações construídas é fundamental para a constituição de um espaço urbano mais sustentável. No entanto, deficiências de desempenho energético e ambiental dificultam a permanência desse legado.

Colaborando para essa discussão, no terceiro capítulo as perguntas "o que são?", "como estão?" e "como proceder?" são aplicadas ao consumo energético de um dos blocos didáticos do edifício de Ciências Exatas do Centro Politécnico. Através da aplicação do método da Análise do Ciclo de Vida Energético (ACVE), objetiva-se descrever o consumo energético referente à construção, à operação de equipamentos, à manutenção e às alterações realizadas na edificação em 50 anos.

Tendo em vista a constante modificação dos espaços, esse estudo visa balizar alterações, identificar oportunidades de efficientização energética e evitar soluções aleatórias na sua manutenção. Tem-se como público-alvo, desta maneira, profissionais e entidades envolvidos nesse processo de implementação, mas também profissionais, entidades, pesquisadores e usuários de outros edifícios públicos existentes com idade já avançada.

A Norma Técnica Brasileira de Análise de Ciclo de Vida (ABNT, 2009) foi utilizada como referência para o método. Os dados individuais de energia embutida (EE) foram retirados da tese de Tavares (2006). O quadro a seguir (Quadro 3) apresenta a estrutura dessa primeira parte.

Quadro 3 - Estrutura de organização da Análise do Ciclo de Vida Energético (Capítulo 3)

Problema	Objetivo	Método	Unidade de análise	Resultados
<i>O que são?</i>				
Quanto de energia gastou-se na construção do edifício?	Descrever quanto de energia foi gasta para a construção do edifício.	ACVE da fase pré-operacional.	EE em um bloco didático do CP.	
<i>Como estão?</i>				
Quanto de energia gastou-se na manutenção do edifício durante 50 anos de vida útil?	Descrever a energia embutida na manutenção do edifício.	ACVE da fase operacional.	EE em um bloco didático do CP, referente à manutenção das características originais do edifício.	
Quanto de energia gastou-se em alterações no edifício durante 50 anos de vida útil?	Descrever a energia embutida por alterações do edifício.	ACVE da fase operacional.	EE em um bloco didático do CP, referente às alterações, adaptações e substituições dos elementos originais por outros distintos.	
Quanto de energia gastou-se na operação de equipamentos do edifício durante 50 anos de vida útil?	Descrever quanto de energia foi gasta na operação de equipamentos do edifício.	ACVE da fase operacional.	Energia consumida em um bloco didático do CP, com o uso de equipamentos e sistemas de iluminação.	
<i>Como proceder?</i>				
Quais etapas consomem mais energia?	Descrever e comparar os dados obtidos nas etapas anteriores.	Análise das etapas anteriores.	Energia embutida x energia operacional por equipamentos elétricos.	
Quais etapas oferecem oportunidades de se reduzir o consumo energético do edifício?	Descrever e comparar os dados obtidos nas etapas anteriores.	Análise das etapas anteriores.	Energia embutida x energia operacional por equipamentos elétricos.	

1.6.3 Sobre a avaliação de desempenho termoenergético e lumínico (Capítulo 4)

A simulação computacional é utilizada para analisar o comportamento de sistemas complexos reais, por meio de formulações matemáticas, teorias probabilísticas e algoritmos. Trata-se de uma imitação da realidade por meio de representações ou modelos. Por meio deles, é possível prever os resultados de desempenho desses sistemas com a variação de parâmetros, sem a necessidade de se executar essas alterações no meio real (BANKS, 2005).

Na construção civil, programas de simulação inicialmente foram utilizados em experimentações sobre transmitância térmica e no desenvolvimento de sistemas de aquecimento, ventilação e condicionamento de ar (*Heating, Ventilation and Air Conditioning* - HVAC), com o objetivo de testar seu desempenho em relação a materiais, instalações e equipamentos (KUSUDA, 1999). Mais recentemente, estas ferramentas passaram a ser utilizadas também na etapa de concepção projetual (EGAN, 2009; POLLOCK *et al.*, 2009; KREBS *et al.*, 2013). Como as definições ainda são maleáveis nessa fase, as implementações no desempenho da edificação podem ser mais significativas.

Devido ao crescimento das cidades, ao envelhecimento das edificações, e aos incentivos governamentais a esquemas de efficientização do ambiente construído, inclusive no país (BRASIL, 2008), as intervenções no ambiente já edificado tem sido cada vez mais frequentes. Nesses casos, a simulação de desempenho também pode ser uma ferramenta importante, pois permite tanto a avaliação de espaços existentes a fim de subsidiar a concepção projetual (WANG, YAN e XIAO, 2012), quanto para testar e comparar alternativas de readequação do meio edificado (MENASSA, 2011; ASADI *et al.*, 2012; KUMBAROGLU e MADLENERB, 2012), e prever se o desempenho final do conjunto é compatível com o cenário desejável (KATIPAMULA e CLARIDGE, 1991; REDDY, HUNN e HOOD, 1994; CAVALCANTE, 2010).

Mesmo com um crescente volume de pesquisas a respeito da aproximação entre simulação de desempenho e readequação do ambiente construído, as alterações de manutenção e de substituição nem sempre seguem um projeto global ou vão de encontro com a implementação do conjunto, tanto em termos energéticos quanto em termos de preservação do patrimônio construído.

Nesse sentido, o quarto capítulo que compõe esta dissertação explora maneiras de se implementar a performance térmica e de iluminação natural do edifício a ser preservado. Nela, as perguntas "o que são?", "como estão?" e "como proceder?" são aplicadas às condições de conforto térmico e lumínico de porções do edifício. Para isso, é descrito o desempenho atual de partes do edifício no clima temperado, e são testadas possíveis medidas de readequação.

Para comparar as possibilidades de intervenção de uma mesma edificação, faz-se o uso do método de análise experimental: a simulação em *software*. Através da simulação do projeto original, do estado atual e de soluções alternativas, pretende-se explicar a contribuição (positiva ou negativa) das soluções empregadas ao longo de 50 anos no edifício, complementando as partes anteriores.

Ao explorar um método de identificação de problemas e de teste de soluções antes de sua execução, busca-se evitar que ações de manutenção possam ir contra a implementação do conjunto. De maneira imediata, estas informações são úteis a gestores e profissionais ligados diretamente à administração do Centro Politécnico. No entanto, estudantes e educadores também constituem o público-alvo deste trabalho, por ensaiar uma forma de aproximação entre simulação termoenergética e de iluminação; e processo de aprendizagem e de produção de arquitetura.

O quadro a seguir (Quadro 4) apresenta a estrutura desse quarto capítulo.

Quadro 4 - Estrutura de organização da avaliação de desempenho termoenergético e lumínico (Capítulo 4)

Problema	Objetivo	Método	Unidade de análise	Resultados
<i>O que são?</i>				
Qual o contexto?	Descrever as características do meio de inserção do edifício.	Revisão bibliográfica (carta bioclimática de givoni, equação de conforto de Fanger).	Dados climatológicos e de radiação solar.	
Como é o desempenho térmico do edifício?	Explicar como a edificação se comporta em relação ao conforto térmico de seus usuários.	Simulação computacional no sistema mestre (SCHMID e GRAF, 2011).	Horas fora da zona de conforto ambiental durante o inverno nas salas de aula.	
Como é o aproveitamento da luz natural?	Explicar como a luz natural é aproveitada na edificação.	Simulação computacional no sistema mestre (SCHMID, 2004).	Iluminância relativa à luz natural de uma sala de aula.	
<i>Como estão?</i>				
Como está o desempenho térmico após 50 anos de uso?	Descrever as modificações relacionadas ao desempenho térmico.	Observação direta.	Modificações físicas relativas insolação e ventilação.	
Como está o aproveitamento de luz natural após 50 anos de uso?	Descrever o desempenho lumínico de aproveitamento de luz natural.	Observação direta.	Modificações físicas relativas insolação.	
<i>Como proceder?</i>				
Como melhorar o desempenho térmico?	Explorar implementações que venham aumentar as horas de conforto térmico.	Simulação computacional no sistema mestre (SCHMID e GRAF, 2011).	Horas fora da zona de conforto térmico durante o inverno nas salas de aula.	
Como melhorar o aproveitamento da luz natural?	Explorar implementações que aumentem os níveis de iluminância da luz natural no ambiente interno.	Simulação computacional no sistema mestre (SCHMID, 2004).	Iluminância relativa à luz natural de uma sala de aula.	

2

2 CONCEITUAÇÃO

Em 2011 a *Radio y Televisión Española* (RTVE) lançou o documentário *Se acabó la fiesta*, sobre as oportunidades da construção principalmente entre a década de 1990 e o início dos anos 2000. Segundo a produção, as obras grandiosas de arquitetos renomados, financiadas por governos em busca de visibilidade política, teriam sido asseguradas principalmente pelas possibilidades econômicas otimistas. No entanto, a busca por obras icônicas levou a certo descaso com demandas sociais e ambientais. No documentário, Blanca Lleó (2011) defende que se tem feito muito mais do que o necessário, o que significou também destruir muito mais do que necessário. Assim, um ambiente construído mais sustentável deve se orientar em busca do equilíbrio entre o construir e o destruir.

Essa discussão sobre sustentabilidade e preservação tomou força no fim do século XX, quando além de dar atenção às novas construções, o debate sobre sustentabilidade passou também a permear patrimônios edificados (CARROON, 2010). No entanto, levantamentos do *International Committee for Documentation and Conservation of Buildings, Sites and Neighbourhoods of the Modern Movement* (DOCOMOMO) acusam que, desde a década de 1980, a herança da produção arquitetônica moderna tem se mostrado como principal alvo de demolições e descaracterizações. Como muitos destes exemplares carregam em si valores arquitetônicos, históricos ou simbólicos insubstituíveis que justificam a preservação do seu testemunho, mais do que a documentação dessa produção, é relevante explorar possíveis diretrizes para a sua permanência no ambiente construído.

Neste sentido, este capítulo busca responder a questão "como utilizar os edifícios modernos na contemporaneidade?". Para isso, delimitou-se dois objetivos: um de explorar diretrizes de preservação da Arquitetura Moderna, baseado em uma revisão bibliográfica sobre o tema; e outro de descrever o uso atual de um exemplar moderno, o edifício das Ciências Exatas da UFPR, a fim de verificar ou não a aplicação dessas diretrizes.

2.1 A produção arquitetônica do Movimento Moderno

Para melhor apreensão do Movimento Moderno, Bruna (2010) conceitua e diferencia os termos *modernização*, *modernidade* e *modernismo*. Ele define *modernização* como o processo de desenvolvimento econômico e social que atinge a sociedade como um todo. Já a *modernidade* é a maneira que esse processo de modernização é vivenciado pelos indivíduos; como ele afeta a vida diária das pessoas. Os *modernismos* seriam as reações em forma de manifestos culturais provocadas por essa experiência da modernidade.

Montaner (2001) afirma que não se pode considerar o Movimento Moderno como um fenômeno de contornos bem definidos. Segundo ele, a complexidade e diversidade de suas propostas leva a sua conceituação à constante revisão histórica, assim como a definição de suas origens e de sua duração.

2.1.1 O contexto

Alguns historiadores da literatura e da arte defendem que a origem das produções modernas datam do fim do século XIX e se alastram até as primeiras décadas do século XX (BRUNA, 2010). Outros estudiosos estendem esse intervalo do fim do século XVIII até o fim do século XX; e há ainda aqueles que defendam que a modernidade ainda persiste, em novos ciclos sem configurar uma ruptura. Frampton (1991) alerta que quanto mais rigorosa é a busca pela origem da Arquitetura Moderna, mas remota ela será, tendendo a se aproximar do século XVIII, quando os padrões vitruvianos começaram a ser questionados. Também para Hearn (2003) essa troca da expressão de convenções compositivas pela expressão de princípios conceituais na produção de arquitetura é o que diferencia a teoria da arquitetura a partir de 1800 de tudo o que havia sido feito anteriormente.

Tomando como exemplo o recorte de Montaner (2001), será utilizada uma conceituação mais ampla. Parte-se, assim, da ideia de Movimento Moderno como a corrente de tendência internacional baseada nas vanguardas europeias de princípios do século XX (no período entre-guerras), que se desenvolve e se internacionaliza a partir da década de 1930.

No início do século XX, enquanto o continente europeu lidava com reconstrução e melhoria das cidades destruídas na Primeira Grande Guerra (1914-1918), o Ocidente desfrutava das oportunidades provenientes dos avanços industriais. O avanço tecnológico representou uma oportunidade de se construir - mais e melhor -

ambientes saudáveis e acessíveis. Além do cunho social e tecnológico, Prudon (2008) defende que visualmente foi uma ruptura estilística em relação ao que se construía até então. Segundo ele, os desenvolvimentos estéticos que se sucederam a partir daí passaram a ser diretamente associadas à Arquitetura Moderna.

Com o início da Segunda Guerra Mundial (1939 - 1945), a construção praticamente cessou na Europa. Nos Estados Unidos, porém, continuou-se a construir, inclusive parques industriais para atender as demandas europeias. Na Europa, durante o segundo pós-guerra, devastada principalmente pelos ataques à bomba, o cunho social das intervenções urbanas era bastante presente. Conjuntos habitacionais em tipologias variadas eram construídos para fornecer habitação a todos, sempre ligados ao planejamento urbano e ao estudo das unidades (BRUNA, 2010).

Nos Estados Unidos, diferentemente, os elementos econômicos e funcionais do Movimento Moderno se sobressaíram em relação aos sociais e estéticos (PRUDON, 2008). As tecnologias e os materiais, frutos do desenvolvimento da indústria da construção civil americana desde antes da Segunda Guerra, foram amplamente empregados e caracterizaram a produção desse período. Não somente em projetos habitacionais, mas também em edificações públicas (escolas, escritórios governamentais, bibliotecas) e comerciais (torres de escritórios, aeroportos).

Para Kopp (1990), não são as datas que importam, mas as ideias defendidas pelos arquitetos do Movimento. Assim, o próximo subitem trata da sua caracterização.

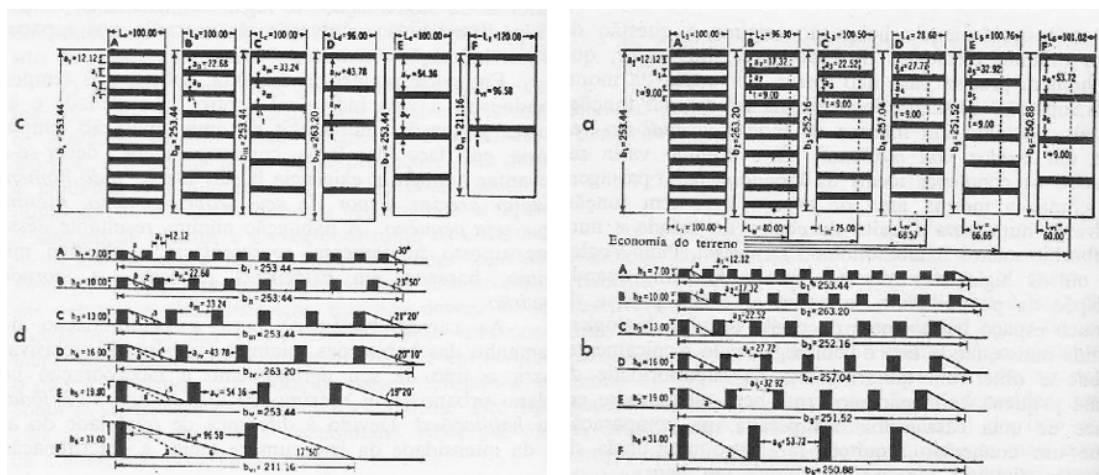
2.1.2 A caracterização

Montaner (1990) defende que, apesar da diversidade e a complexidade das gerações de arquitetos modernos descritas por ele, há conceitos unânimes que estruturaram a produção Moderna. Bruna (2010) toma como objeto de estudo os conjuntos habitacionais construídos e as decorrentes intervenções urbanas em busca do atendimento das demandas sociais por habitação e condições salubres e dignas de vida. Segundo ele, quatro atitudes caracterizavam o fazer arquitetônico desse movimento.

Em primeiro lugar, o abandono de atitudes subjetivas provenientes de preocupações exclusivamente estéticas, pela adoção de um pensamento racional e científico no desenvolvimento projetual. A abordagem da problemática da habitação,

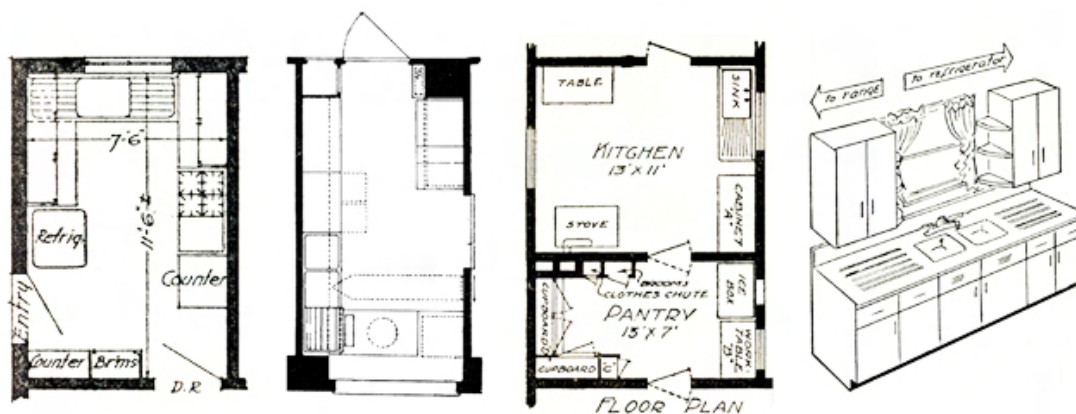
estudando a unidade mínima, vinculada à salubridade (como mostram os diagramas de afastamento de Gropius, na Figura 2), à ergonomia, à eficiência e à racionalização da construção.

Figura 2 Diagrama de estudo da relação entre altura e afastamento de edificações apresentado por Walter Gropius no 3º CIAM, em 1930 (GONSALES, 2010, p.7)



Em segundo lugar, a ideia de que era possível mudar o comportamento social por meio do espaço, principalmente nos projetos dos grandes conjuntos urbanos de habitações mínimas. A habitação mínima deveria ser um meio para uma "nova cultura de habitação" (BRUNA, 2010, p. 58), como novos modos de vida e comportamentos sociais. Este é o caso, por exemplo, da cozinha Frankfurt (Figura 3), que ao simplificar e facilitar as atividades domésticas, permitiria à mulher maior dedicação à vida profissional e pessoal. Trata-se da identificação de um usuário-padrão e, consequentemente, um problema-padrão com uma solução replicável. O "novo cliente coletivo" (KOPP, 1990, p.16) era constituído basicamente por trabalhadores nas indústrias e escritórios; e foi resultante da mudança do modo de produção na Europa, num pós-Revolução Industrial (séculos XVIII e XIX), pós-Guerra Mundial e pós-revolução econômica, social e política de Outubro de 1917 na Rússia.

Figura 3 Esquemas de cozinhas Frankfurt (MOMA, 2013)



O terceiro ponto foi a produção industrial dos componentes das edificações, desde a estrutura até o mobiliário, empregando mão-de-obra com baixa qualificação em sistemas racionalizados de produção de escala industrial e reduzindo o número e a complexidade de operações em canteiro de obra (Figura 4). A produção em larga escala de artefatos, mobiliário e componentes para edificações passa a seguir normativas dimensionais para facilitar a montagem e interação entre as partes. A solução para as necessidade de massa seria uma arquitetura de massa" (KOPP, 1990).

Figura 4 Painéis pré-fabricados do Conjunto Habitacional de Lignon, de G. Addor (METMUSEUM, 1995), caso de readequação descrito por Graf e Marino (2011).



E, finalmente, o reconhecimento do papel do planejamento urbano na organização estatal como essencial. A presença do Estado no gerenciamento do espaço urbano permitiu intervenções urbanas de grande porte, como o conjunto habitacional de Lignon (Figuras 4 e 5) em meados do século XX.

Figura 5 Implantação do Conjunto de Lignon, Georges Addor, 1936-1971 (DESCONEXO, 2011).



Seguindo esse raciocínio, em relação à arquitetura característica do Movimento Moderno, definições que a relacionam a conotações puramente estilística são consideradas, por Bruna (2010), limitadas. Acordando com Kopp (1990), defende-se o Movimento não pode ser considerado como mais um movimento artístico a se contrapor ao que se produzia até então. Mais do que isso, tratava-se principalmente de uma tentativa de participar da transformação da sociedade através do ambiente construído. Por este motivo, uma Arquitetura não *modernista*, como uma reação a essa experiência da *modernidade*, como explicado anteriormente. Mas a experiência *moderna* em si.

Mesmo não se considerando os aspectos estéticos no Movimento Moderno como elementos estruturais, pode-se associá-los a dois princípios: a referência à máquina (enquanto funcionamento, estética ou método de montagem) e a abstração (formas geométricas simples, cores primárias, e simplificações que refletissem a procura por uma ordem e a lógica do pensamento). Landim (2012) destaca também a oposição entre vanguarda e ornamento; característica do debate estético moderno, justificada pela busca do desprendimento de modelos clássicos. Para ela, essa busca

pela funcionalidade, mesmo que muitas vezes decorativa, é refletida na progressiva industrialização de objetos para a vida cotidiana, da mesma maneira que foi concebida a edifícios e cidades (FRAMPTON, 1991; HEARN, 2003). Segundo a autora, essa subordinação da forma à função, justificada pelo domínio da máquina, seria o ponto de partida para uma arte industrial. A partir de então, a industrialização deixa de ser associada a má qualidade, como aconteceu em meados do século XIX (LANDIM, 2012), e passa a representar o progresso.

Montaner (2001) vai além e defende que em grande parte das obras do Movimento Moderno, buscou-se associar, mesmo que utopicamente, o edifício à política. Buscava-se materializar os conceitos de honestidade, democracia, economia e integridade ética na edificação através de estruturas independentes, claras, vedações transparentes, plantas livres e flexíveis, e pouca ornamentação.

2.1.3 No Brasil

A arquitetura moderna fora dos Estados Unidos e da Europa assumiu caráteres distintos. No Brasil, as características e modificações específicas da produção local foram decorrentes diretamente das condições geográficas e históricas do país. De acordo com Bruand (2005), foi essa "franqueza aceita propositalmente que garantiu ao movimento 'moderno' brasileiro a força necessária para se expandir, impondo-se assim internamente e obtendo uma repercussão internacional" (BRUAND, 2005, p. 29).

No início do século XX, a arquitetura brasileira era caracterizada pela justaposição de estilos históricos, pelo atraso tecnológico e pela adoção do vocabulário arquitetônico tradicional europeu. A maioria dos arquitetos eram importados da Europa, e aqueles brasileiros que se destacavam no cenário nacional defendiam as tradições europeias (BRUAND, 2005). A partir de 1920, aos poucos surgiu o movimento neocolonial que, mais do que resultado do aumento do interesse pela arquitetura colonial (o que conseqüentemente permitiu seu maior conhecimento e a sua preservação) e origem de obras relevantes, foi adotado por muitos daqueles que seriam posteriormente discípulos de Le Corbusier (1887-1965).

Ainda de acordo com Bruand (2005), a Semana de Arte Moderna de 1922, em São Paulo, apesar de não ter resultados diretos sobre a produção de arquitetura, criou condições psicológicas, favoráveis a mudanças práticas, e financeiras, com a conversão de membros da aristocracia. Nesse contexto, chegou de Odessa o arquiteto

Gregori Warchavchic (1896-1972), responsável pelas primeiras realizações modernas em São Paulo.

No Rio de Janeiro, o desenvolvimento da então nova forma de fazer arquitetura foi resultado da influência das ideias de Le Corbusier e Warchavchic principalmente sobre Lucio Costa. Ele foi responsável pela tentativa de reforma do ensino da Escola de Belas Artes e pela conversão efetiva de muitos estudantes de arquitetura à necessidade de se abandonar a cópia dos estilos do passado, assumindo um programa construtivo coerente, sem se distanciar da realidade brasileira. Segundo Bruand (2005), a presença de arquitetos locais (não estrangeiros, como aconteceu em São Paulo) e de uma escola com um grupo articulado que debatia sobre a nova arquitetura permitiram que o Rio de Janeiro tomasse progressivamente a liderança de São Paulo (origem desse movimento) na implantação desse Movimento revolucionário. Esse processo rendeu um dos momentos decisivos na história da arquitetura brasileira: a construção do edifício do Ministério da Educação e Saúde, atual Palácio Gustavo Capanema (com início das atividades em 1936 e conclusão das obras em 1943), projeto assessorado por Le Corbusier e desenvolvido por um grupo de arquitetos brasileiros, incluindo Lucio Costa e Oscar Niemeyer (1907-2012).

Na implantação dessa nova Arquitetura, foram propostas adaptações dos conceitos modernos a cada parte do país. O desafio mais frequente foi lidar com o clima tropical, que demanda o controle da incidência direta de luz e radiação solar. Cidades importantes como São Paulo, Rio de Janeiro, Recife e Salvador têm clima quente e úmido, em que cabe a ventilação cruzada como estratégia básica de resfriamento. Brasília tem um clima tropical mais seco, em que a ventilação não é tão recomendada para se evitar a perda de umidade do ar interno.

Já em Curitiba, o clima é temperado. Desta forma, o problema torna-se mais complexo já que não se trata de um clima ameno, comparando com o tropical. Mas combinam-se características de clima quente durante o verão e de clima frio durante o inverno, às quais um mesmo edifício deve responder adequadamente. Por isso, a sobreposição ou redundância de sistemas é frequente. Elementos como proteção solar e sistemas de ventilação devem ser flexíveis de maneira a responder aos dois momentos distintos do ano. Assim, a Arquitetura Moderna em Curitiba sofreu adaptações distintas de outras cidades, como será descrito no subcapítulo 2.3.

2.2 A preservação da Arquitetura Moderna

De acordo com Prudon (2008), o interesse por um período anterior geralmente se reflete antes na apreciação de artefatos e obras de arte. Passadas três décadas, aproximadamente, é que surge o interesse pelas edificações. Ele descreve que no processo de preservação de edificações, inicialmente, uma obra icônica é eleita, quando já há certo risco de demolição ou tal grau de degradação material que coloca sua permanência em questão. Do sucesso ou da derrota da mobilização por preservação, a preocupação se expande a outras edificações e outros arquitetos. Prudon (2008) defende que um padrão semelhante ocorreu com a Arquitetura Moderna, no entanto de maneira diversa em relação a distanciamento temporal e motivação.

Choay (2006) descreve que até a criação da primeira Comissão dos Monumentos Históricos, em 1837, havia três categorias de monumentos históricos: os remanescentes da Antiguidade, os edifícios religiosos da Idade Média e castelos. No período entreguerras (1918-1939), frente às perdas de cidades inteiras, as discussões sobre preservação, e também reconstrução, tomaram escala mundial. Nesse contexto surgiram inventários, eventos, documentos e normativas sobre preservação do meio edificado. A Carta de Atenas de 1931 (CURY, 2000) foi o primeiro documento internacional formal sobre preservação e restauração de monumentos, e se posiciona contra a adoção generalizada da reconstituição total e a favor da manutenção do tecido histórico.

Após o fim da Segunda Guerra Mundial, várias organizações recém criadas passaram a se preocupar com a conservação do patrimônio e reconstrução dos danos causados pelas duas guerras: como *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organizations* (UNESCO), *International Council of Museums* (ICOM), *International Centre for the Study of Preservation and Restoration of Cultural Property* (ICCROM), e *International Council on Monuments and Sites* (ICOMOS). Todos os tipos de construções foram anexadas ao rol de preservação: aglomerados de casas, bairros, aldeias e até mesmo cidades inteiras. Em 1964, foi publicada a Carta de Veneza (CURY, 2000), que ainda constitui um dos principais documentos internacionais norteadores das práticas de preservação. Ela revisou os princípios apresentados na Carta de Atenas, ampliou-se além dos exemplares icônicos, valorizou as relações contextuais, e reconheceu a multidisciplinaridade das intervenções de preservação.

Serviu também de base para os documentos e eventos posteriores, como a Carta de Burra³ de 1980 e Conferência de Nara⁴ em 1994 (CURY, 2000).

No entanto, até então, somente eram alvo de preservação edificações datadas até o século XIX (CHOAY, 2006). Prudon (2008) relata que a partir do momento em que obras icônicas do século XX começaram a sofrer alterações, manutenções e demolições, é que a preocupação em relação às edificações Modernas surgiu na Europa, como o movimento contra as demolições da *Robie House* de Frank Lloyd Wright, e da *Villa Savoye* de Le Corbusier. Esse interesse pelo patrimônio moderno aos poucos foi transformado em medidas legislativas que abraçaram mais edificações do período pré-guerras. Com a criação do DOCOMOMO em 1988, unindo profissionais, acadêmicos e instituições interessadas; e com a publicação do documento *Recommendation n° R (91) 13* (COE, 1991), resultado das discussões do *Council ou Europe* (COE) em 1989, essa discussão tomou maiores proporções e consolidação internacional.

A partir dessa aceitação das obras do início do Movimento Moderno como herança arquitetônica a ser protegida, aos poucos, também edificações do segundo pós-guerra entraram no escopo. Essas obras mais recentes, segundo Prudon (2008), ganharam espaço nas primeiras décadas do século XXI.

No entanto, ações de descaracterização e demolição de edifícios modernos, especialmente naqueles menos icônicos, ainda são comuns. Isso se deve principalmente ao não reconhecimento das obras desse período como elementos de preservação, seja por obsolescência funcional, por desempenho abaixo dos padrões contemporâneos, por deterioração material (GRAF e MARINO, 2011); ou por falta de identificação (PRUDON, 2008). Zein e Marco (2008) apontam a deficiência na comunicação e identificação com o público geral, decorrente, segundo eles, da sua natureza transgressora "a distender os limites do possível e do permissível", como contribuintes dessa resistência.

³ Publicada pelo ICOMOS da Austrália em 1979.

⁴ Conferência sobre autenticidade em relação ao Patrimônio Mundial organizada por UNESCO, ICCROM e ICOMOS na cidade de Nara, Japão, em 1994.

2.2.1 Os empecilhos à preservação

A escola de arquitetura e arte aplicada criada por Gropius em 1919, a Bauhaus buscava conectar a arte e a produção industrial (ARGAN, 2005). Berço acadêmico da arquitetura e do *design* modernos, enquanto a maioria das universidades alemãs conservava a tradição da ênfase em pesquisa teórica, esta escola inovava com treinamentos práticos de construção. Buscava maior integração com a indústria e novas formas de construir, como lajes planas, paredes mais estreitas, livres de cargas estruturais e vedações externas independentes em vidro; e o emprego de uma grande diversidade de materiais com grande otimismo em relação à fabricação, montagem, aplicabilidade e durabilidade.

No entanto, Tomlow (2011) explica que a crítica em relação a essas inovações foi a respeito do rigor científico nessas descobertas, já que a construção daquelas novas tecnologias era experimental. Foram recorrentes problemas de durabilidade, já que a necessidade de substituição de materiais e componentes nessas obras é muito maior do que nas anteriores, que faziam o uso de materiais e técnicas construtivas tradicionais (PRUDON, 2008). Swift (2011) destaca a posterior descoberta de efeitos prejudiciais de materiais como o chumbo, o amianto e até mesmo o cobre; enquanto Graf e Marino (2011) observam também que as então recém-elaboradas especificidades construtivas dos edifícios do Movimento Moderno são lembradas, não em raros casos, por problemas de performance como infiltrações, e baixo isolamento térmico.

Building Physics (*Bauphysik*, em alemão), disciplina de tecnologia de construção que analisa materiais e sistemas de construção especificamente relacionados à transmissão de calor, som, umidade e ar, em boa parte, foi explorada no meio acadêmico antes dos anos 1920. No entanto, nesse período, a transposição desta produção teórica acadêmica para os ambientes de prática arquitetônica não foi significativa. De acordo com Tomlow (2011), essa estanqueidade estava relacionada principalmente ao uso abundante e complexo de cálculos matemáticos e à escassez de publicações, parcialmente substituída pelos manuais e divulgações comerciais financiadas pelos próprios fabricantes dos materiais de construção.

É preciso, ainda, comparar o desempenho das tecnologias empregadas nas edificações modernas não apenas à maneira que se constrói hoje, mas à que se fazia na época, levando em consideração o que essas inovações representaram para a

reconstrução das cidades após a Primeira e a Segunda Guerra Mundial. A demanda por moradias para ocupação imediata, e também por infraestrutura, nos períodos de pós-guerra era imensa. Essas obras, financiadas em sua maioria pelos Estados, tinham que respeitar os limites modestos de tempo e de orçamento. A indústria da construção se desenvolvia a medida que essas intervenções urbanas se concretizavam. Portanto, muito do que se considera como problemas de performance da Arquitetura Moderna deve ser avaliado como problemas decorrentes de uma indústria ainda em desenvolvimento.

As novas formas de construir trouxeram à tona, também, novos problemas em relação ao consumo energético, como: a utilização de materiais industrializados com gasto energético elevado para produção; a construção de torres estanques demais com patologias relacionadas à qualidade de ar interno; e excessiva troca de calor com o meio em edifícios de fachadas envidraçadas e paredes leves. Prudon (2011) defende que muitos destes edifícios foram criados quando a energia era ainda considerada barata e abundante e quando a sua demanda era apenas uma fração da necessário no século seguinte. Além disso, mudanças em percepções de conforto ambiental (THUODY *et al.*, 2011; ROAF *et al.*, 2011), demandando integração de sistema eletrônicos e elétricos voltados ao condicionamento térmico, são também grandes responsáveis pelo alto consumo energético dessas edificações em alguns países, não sendo o caso do Brasil (TAVARES, 2006).

Além da obsolescência física, Prudon (2008) trata da obsolescência funcional das edificações. Isso porque muitas delas foram construídas para usos específicos e, com o tempo, muitos deles se transformaram ou deixaram de existir. A velocidade de transformação das necessidades e até mesmo das expectativas do usuário em relação ao espaço construído é cada vez maior, assim como dos equipamentos e dos modos de trabalho.

Esses empecilhos à preservação de obsolescência, somados à falta de distanciamento temporal, contribuem para a resistência em se preservar obras Modernas.

2.2.2 O processo de seleção

Outro tema nas discussões sobre preservação do patrimônio moderno é sobre o processo de seleção do que preservar, já que há a oportunidade de determinar o que se deseja proteger antes que o tempo reduza as opções.

Prudon (2008) explica que o processo genérico de se administrar o patrimônio construído histórico consiste em alguns passos que, idealmente, compõem uma sequência.

- a) estabelecer critérios para definir o que vale se preservado;
- b) conduzir um *survey* para localizar e documentar esses recursos a serem preservados;
- c) contrapor os recursos encontrados com os critérios estabelecidos;
- d) selecionar os que são mais representativos e conferir a eles algum tipo de *status* oficial ou reconhecimento;
- e) seguir com medidas de proteção.

Segundo o autor, esse passo a passo pode acontecer em escala nacional ou internacional, a obras relacionadas a eventos ou personalidades importantes, por mérito artístico, tecnológico ou cultural, ou ainda a sítios históricos. No entanto é bastante comum que essas intervenções de preservação sejam urgentes, sem a possibilidade de se estabelecer critérios bem definidos e de se colher informações mais embasadas.

A *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization* (UNESCO), na lista de bens modernos por ela reconhecidos (UNESCO, 2012), aponta os seguintes critérios de seleção, adotados individualmente ou agrupados:

- a) representar uma obra-prima do gênio criativo humano;
- b) ser a manifestação de um intercâmbio considerável de valores humanos durante um determinado período ou em uma área cultural específica, no desenvolvimento da arquitetura, das artes monumentais, de planejamento urbano ou de paisagismo;
- c) aportar um testemunho único ou excepcional de uma tradição cultural ou de uma civilização ainda viva ou que tenha desaparecido;

- d) ser um exemplo excepcional de um tipo de edifício ou de conjunto arquitetônico ou tecnológico, ou de paisagem que ilustre uma ou várias etapas significativas da história da humanidade;
- e) constituir um exemplo excepcional de habitat ou estabelecimento humano tradicional ou do uso da terra, que seja representativo de uma cultura ou de culturas, especialmente as que tenham se tornado vulneráveis por efeitos de mudanças irreversíveis;
- f) estar associados diretamente ou tangivelmente a acontecimentos ou tradições vivas com ideias ou crenças, ou com obras artísticas ou literárias de significado universal excepcional.

Grementieri (2003) afirma que as discussões sobre tais critérios devem se basear em cinco conceitos:

- a) Universalidade: a globalização, a industrialização e a democratização tendem a uniformizar culturas e expressões; o que compromete, muitas vezes, a ideia de excepcionalidade das obras.
- b) Legitimidade: falhas na historiografia relativa aos séculos XIX e XX prejudicam o processo de avaliação, seleção e preservação da herança remanescente.
- c) Heterogeneidade: há a necessidade de se considerar testemunhos de grupos, países, bases historiográficas variadas; relacionando a produção arquitetônica a um contexto mais amplo e diverso.
- d) Inclusão: a produção de outros espaços construído também devem ser consideradas, como projetos de interiores, paisagismo e urbanismo.
- e) Representatividade: questões ideológicas (relação com momentos históricos, regimes totalitários, discriminação) tendem a influenciar a valoração de exemplares construídos, levando a perdas desse patrimônio (Figuras 6 e 7).

Figura 6 Phillis Wheatley Elementary School, escola exclusiva para afrodescendentes em New Orleans, por Charles Colbert, 1954 (LIFE WITHOUT BUILDINGS, 2008)



Figura 7 Protesto durante a demolição da Phillis Wheatley Elementary School, Louisiana (NOLA, 2011)



Ainda sobre o reconhecimento oficial, Prudon (2008) explica que ele se baseia nos conceitos de *significância* e de *integridade* da obra.

Significância ele define sendo a possibilidade de identificação de elementos que tornem a obra mais relevante que outras e, portanto, digna de proteção. Esse conceito está baseado em uma narrativa histórica que insere a obra em um contexto arquitetônico, histórico, social e cultural. Dessa forma, historicamente, justifica-se a proteção de uma edificação por ser rara, icônica, melhor ou última da sua espécie. Isto permanece válido para edifícios icônicos modernos, mas o critério foi expandido. Também são dignas de proteção edificações associadas a eventos históricos ou personalidades, a materialização de um tipo, um período, um método construtivo, ou a um todo, cujas partes individualmente podem não ter grande valor, entre outros.

Da mesma forma o conceito de integridade teve de ser expandido. Originalmente, o que se verificava era o que fisicamente restava e sua condição. Historicamente, considerava-se importante a proporção entre matéria original e total da edificação. No entanto, para estruturas mais contemporâneas tem-se incluído o conceito de intenção de projeto, quanto das intenções originais permanecem, são reconhecidas e visualmente coesas.

Para Prudon (2008), com essas expansões conceituais no processo de preservação, surgem três questões. A primeira é que muito mais edificações, estruturas e sítios foram criados nos tempos recentes se comparado com outros períodos. Dessa forma, cresce o número de comparações e avaliações para se determinar que edifícios e estruturas são mais significativos. Além disso, muito mais

documentos sobre o projeto e a construção encontram-se disponíveis, o que torna a análise muito mais lenta e profunda. E a última questão é que projetistas, construtores e demais envolvidos na obra muitas vezes ainda estão vivos e disponíveis, podendo dar informações sobre a obra que vão de acordo ou contra a documentação encontrada. O que, como nunca antes, enriquece e torna mais complexa a documentação e o processo de avaliação.

2.2.3 Os critérios de aplicação

Bullen e Love (2011) lembram que, para se aproximar de um ambiente construído mais sustentável, é preciso encarar as edificações como bens finitos e passíveis de reaproveitamento; e não como um produto a ser consumido e descartado. Para que este reaproveitamento não comprometa a preservação do valor arquitetônico, Prudon (2008) destaca três discussões fundamentais à preservação da Arquitetura Moderna: a manutenção da continuidade visual, a primordialidade da intenção de projeto e a relativização da autenticidade.

Em busca de se reduzir o contraste entre ambientes internos e externos e de trazer luz natural para dentro da edificação, aumentando a qualidade dos ambientes internos, grandes aberturas e sistemas de pele de vidro foram desenvolvidos e utilizados na arquitetura do século XX. Em contribuição a essa continuidade, os mesmos materiais passaram a permear os meios interno e externo. Em se tratando da preservação, a relação entre esses dois ambientes deve ser mantida de ambos os lados. Ou seja, como um ambiente interfere no outro, deve-se estudar os usos e modificações que não comprometam a unidade da edificação (tanto de dentro pra fora, quanto de fora pra dentro). Isso inclui a obstrução de visuais, o mobiliário, a compartimentação e a iluminação tanto interna quanto externa. Muitos desses elementos são base para a lógica do conjunto; e sem eles perde-se a conexão com as intenções de projeto.

No trabalho colaborativo pregado pela *Bauhaus*, negou-se a exaltação sublime do indivíduo (ARGAN, 2005). O projeto passou a ocupar um papel de destaque em relação à habilidade individual do artesão; e o uso de produtos industrializados e padronizados se sobrepôs ao dos artesanais. A partir daí, as operações para a materialização do projeto foram reduzidas e simplificadas. Por conta dessa dominância do projeto sobre a execução, Prudon (2008) defende que a manutenção da expressão

visual e conceitual das intenções originais de projeto tendem a informar todos os aspectos da edificação, incluindo a sua construção. Assim, a necessidade de autenticidade material se relativiza.

O *National Park Service* (NPS) Americano publicou em 1979 o documento *The Secretary of the Interior's Standards for the Treatment of Historic Properties (The Standards)*. Nele consta a definição de *rehabilitation* como ações ou processos que tornam possível um uso compatível a uma edificação; através de reparos, alterações, e adições; ao mesmo tempo que preserva as porções ou características relativas aos seus valores históricos, culturais ou arquitetônicos (NPS, 2013). A Carta de Lisboa, publicada em 1995 pela Direção Geral do Patrimônio Cultural de Portugal (OPRURB, 1995), conceitua reabilitação de um edifício como aquela que resolve os problemas construtivos, funcionais, higiênicos e de segurança acumulados ao longo dos anos, atualizando seu desempenho até próximo aos níveis contemporâneos de exigência.

No entanto, há trabalhos que relacionam o termo reabilitação com alteração de uso (ZEIN, 2007; PADUA, 2013). Portanto, utilizou-se o termo "readequação" para o conjunto de modificações que visa a adaptação do edifício aos níveis contemporâneos de exigência, em relação a desempenho energético, material, lumínico, térmico e de conforto ambiental; preservando as características relativas ao seu valor histórico e cultural; sendo que o uso, em sua essência, é mantido o mesmo⁵.

Prudon (2008) considera este tratamento como estratégia de preservação adequada à produção moderna. Isso porque, através da sua aplicação, o edifício tem garantida a preservação de uma das suas intenções de projeto mais fundamentais: a funcionalidade. Ou seja, em nome do melhor funcionamento do edifício, pode-se abrir mão de soluções obsoletas ou ineficientes desde que garantidas as intenções de projeto.

Carroon (2010), no entanto, frisa a importância de se avaliar a possibilidade de consertar ao invés de substituir (*repairability*) a fim de se preservar não apenas a autenticidade, mas de se estender o ciclo de vida de um elemento e reduzir a produção de resíduos. Sedovic e Gotthelf (2005) defendem este conceito aplicado especificamente às esquadrias.

⁵ Por exemplo, em uma escola: mesmo que o modo de organização das atividades em sala de aula evolua e se altere, o caráter permanece. Assim considera-se que o uso se mantém. Ao contrário do que se uma estação de trem for transformada em museu; ou habitação, em um escritório. Nesses casos, considera-se que o uso se modifica.

2.3 O caso do Centro Politécnico

O presente capítulo analisa as repercussões do Movimento Moderno em uma obra arquitetônica de Curitiba e o seu uso. Para isso, é descrito um dos edifícios do *campus* Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná: o edifício-sede dos cursos de tecnologia, batizado posteriormente de Edifício Flávio Suplicy de Lacerda. A partir da contextualização da obra, é justificada a necessidade de sua preservação. Posteriormente, descreve-se os estados original e passados 50 anos de uso da edificação; e as intervenções ao longo do tempo. Por fim, a fim de discutir questões ligadas à sua preservação, verifica-se a compatibilidade entre os conceitos modernos de projeto e de preservação elencados anteriormente.

2.3.1 O contexto

As Obras de Comemoração do Centenário da Emancipação Política do Paraná, na metade do século XX, tiveram como constante a adoção de uma arquitetura modelo de modernização. Promovidas pelo prefeito Bento Munhoz da Rocha, consolidaram a introdução do ideário do Movimento Moderno na arquitetura de Curitiba.

Na capital paranaense, até então, a produção moderna era caracterizada por obras de autoria de profissionais do Rio de Janeiro e de São Paulo. Durante a década de 1950, engenheiros locais aos poucos assumiram responsabilidade pelo seu desenvolvimento, que, nos anos seguintes (décadas de 1960 e 1970), constituiria um dos momentos de destaque na produção de Arquitetura de Curitiba, tanto em relação ao planejamento urbano, quanto a propostas de projeto em concursos nacionais de arquitetura. Entre eles, destaca-se Rubens Meister, autor do conjunto original do Centro Politécnico.

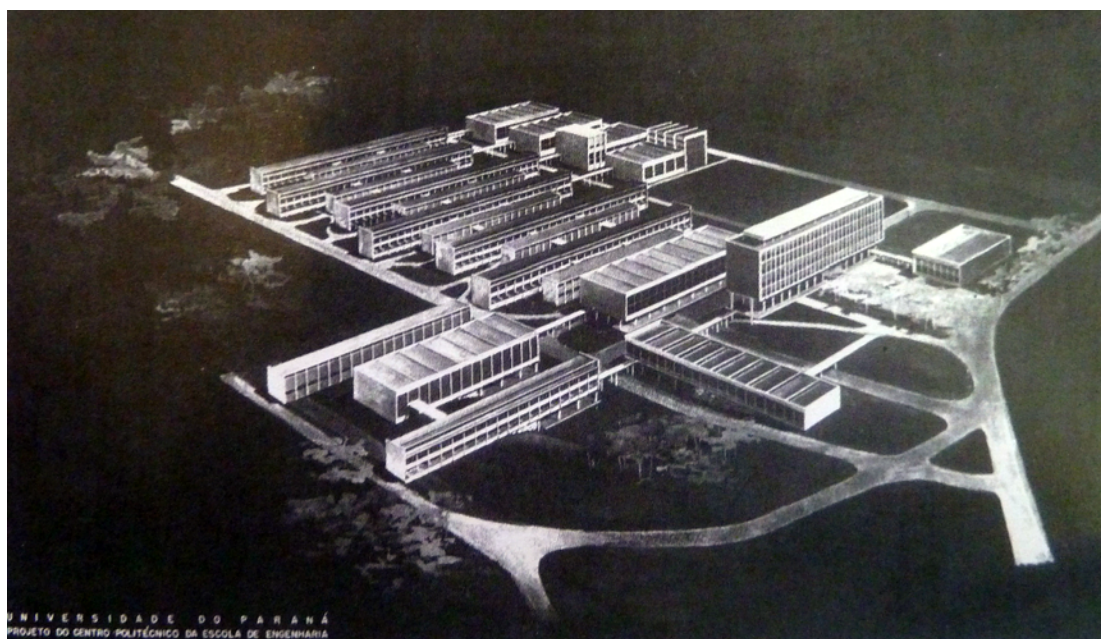
2.3.2 O projeto

A ocupação da área do *campus* (500 000 metros quadrados) pela Universidade já estava prevista desde o plano urbanístico desenvolvido sob assistência de Alfred Agache, da década de 1940. No entanto, nos anos 1950 já se sabia que não seria suficiente para abrigar a integralidade das instalações da Universidade. Apesar da resistência de alguns cursos à ideia de se mudar para mais longe da centralidade (PUPPI, 1986), para os cursos tecnológicos esta seria uma vantagem, já que estariam

próximos a rodovias e teriam mais área para experimentação. Assim, optou-se por se instalar aí apenas os cursos de tecnologia, sob a designação de “Centro Politécnico”.

Segundo Puppi (1986), com essa questão resolvida, decidiu-se conferir a um grupo de professores da área as tarefas de projeto (Figura 8) e execução da obra de seu núcleo principal. Eram eles os professores Paulo Augusto Wendler, Ralph Jorge Leitner, Samuel Chamecki e Rubens Meister, a quem se atribui o projeto (IMAGUIRE JUNIOR e CASTRO *in* BURMESTER, 2002). Estes mesmos personagens participaram, mais tarde, da criação do curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Paraná, juntamente de Ernesto Guimarães Máximo e Euro Brandão (ZEIN, 1986).

Figura 8 Vista superior do modelo do conjunto (BARANOW e SIQUEIRA., 2007).



A inauguração do Centro Politécnico, em 1961, contou apenas com os últimos blocos didáticos, a serem ocupados pelas Engenharias. A obra estendeu-se até 1968, quando foi concluído o edifício da Administração (PUPPI, 1986).

O conjunto (Figura 9) é composto por blocos de pouca altura, espaçados entre si por pátios ajardinados; e interligados por passarelas envidraçadas. O bloco da administração (A), na parte norte, tem seis pavimentos: subsolo, térreo e quatro pavimentos superiores. Logo ao lado, há outro bloco (B) usado para aplicação de provas, que hoje em dia abriga também áreas administrativas. A sul, o próximo bloco é o da biblioteca (C), com três pavimentos (um térreo e dois superiores), seguidos de doze blocos longilíneos, agrupados dois a dois (1-12). Em cada dupla, um bloco mais longo com salas de aula e laboratórios, e outro mais curto que abriga as áreas

administrativas e os gabinetes dos professores. Em todos os blocos, as áreas úteis ficam voltadas a norte, deixando uma faixa a sul para circulação.

Figura 9 - Foto aérea mostrando a organização do complexo (GOOGLE EARTH, 2013).
A - Bloco da Administração; B - Bloco de Provas; C- Biblioteca; 1,3,5,7,9,11 - Blocos de apoio à docência; 2,4,6,8,10,12 - Blocos didáticos.



Costa (2002) enfatiza a influência da arquitetura divulgada em publicações da época no trabalho de Rubens Meister, principalmente pelos mestres modernos. Ela expõe a literatura disponível e consultada por Meister, em grande parte composta por publicações internacionais: francesas, americanas, italianas, argentinas e alemãs. Com o domínio do idioma, Dudeque (2001) destaca a influência do profissional pela arquitetura alemã, bastante racionalista, preocupada com os métodos construtivos e questões técnicas.

Figura 10 - Bloco da Administração
(AUTORA, 2012)



Nota-se a influência dos conceitos modernos no trabalho de Rubens Meister refletida na estrutura aparente, nos *pilotis*, na racionalidade construtiva, nas vedações em vidro e na organização dos espaços. Porém, também o contexto local foi decisivo na definição do projeto. A área de *pilotis* do bloco da Administração, geralmente espaço aberto em outros exemplos modernos icônicos, é vedada por panos de vidro, reduzindo a perda de calor do edifício. Assim como os corredores conectando os doze blocos didáticos, que em outros *campi* universitários pelo Brasil são apenas cobertos. Outra adaptação foi a estrutura. Apesar do uso de estruturas metálicas ser recorrente na Europa e Estados

Unidos, Meister adotou a forma de construir mais usual e subsidiada pelo governo (DUDEQUE, 2001): o concreto armado.

Outra característica comum em obras modernas é a aproximação entre arquitetura e as artes. Além do edifício estar conectado ao seu tempo através de sua técnica construtiva e sua forma, ele deveria estar ligado ao seu lugar, no sentido físico e cultural. Assim, ao incorporar obras de artistas locais, aproxima-se o edifício de sua função representativa e previne-se também de críticas por falta de identificação.

Nesse sentido, Meister revestiu a parede do fundo deste saguão do Bloco da Administração com o painel de azulejos "O culto da tecnologia" (BURSMESTER *et al.*, 2002) de Poty Lazzarotto. A integração de manifestações artísticas na arquitetura é recorrente na obra construída do arquiteto. Além disso, a temática do painel vai ao encontro das aspirações do complexo: desenvolvimento tecnológico, modernização e modernidade. Nele, são ilustradas grandes conquistas tecnológicas, como o domínio do fogo, da lavoura, dos animais, da máquina à vapor, da eletricidade e da energia nuclear, como pode ser observado na Figura 11.

Figura 11 Mural "O culto da tecnologia" de Poty Lazzarotto (AUTORA, 2012)



Na época, a construção do Centro Politécnico foi uma das maiores estruturas pré-fabricadas da América Latina (SCHMID, 2012), possibilitada pelo emprego dos conceitos de repetição e modulação no conjunto. Os blocos da Administração e da biblioteca são adaptações dos 12 blocos didáticos (Figura 12), que repetem uma mesma composição. Estrutura em pré-moldado de concreto armado, alvenaria simples, esquadrias de vidro simples, ora lisos, ora martelados, todos seguindo uma mesma modulação de 3,90m entre eixos. Elementos de proteção solar internos (em madeira) e externos (metálicos) completam o bloco-tipo.

Figura 12 Um dos pátios entre blocos (acervo pessoal, 2012).



Os acabamentos são, também, padronizados. Pastilhas brancas, amarelas, cinza-azuladas e, nas áreas molhadas, azulejos nas paredes. Granitina (ou granilite) em duas cores (preto e branco) ao longo do piso e rodapé curvo fazendo a transição com as paredes dos corredores. Dentro das salas (Figura 13) e dos gabinetes, fez-se uso do pavimento em *parquet*. Forros em placas removíveis texturizadas, para melhor acondicionamento acústico; e de cor clara, para reflexão da luminosidade, completam os ambientes de trabalho.

Além dos elementos construtivos básicos, o mobiliário, as luminárias, as esquadrias e as ferragens são replicadas por todo edifício. Vale destacar os trabalhos de marcenaria nas salas de aula, entre armários e quadros-negros; e a larga presença de móveis da empresa Cimo. Tal repetitividade permitiu a produção em larga escala dos elementos compositivos em toda edificação.

Figura 13 Atelier do curso de Arquitetura e Urbanismo (AUTORA, 2012)



2.3.3 Após 50 anos

Depois de mais de 50 anos de operação, sem manutenção suficiente, o edifício apresenta o mal funcionamento, deterioração e obsolescência em muitos sistemas,

espaços e materiais (Figura 14). Os sistemas de ventilação natural, e a operabilidade das janelas e dos mecanismos de iluminação natural nas salas de aula encontram-se comprometidos. na biblioteca, devido ao desconforto térmico, foram instalados ventiladores de teto ruidosos, sendo que o movimento do ar não neutraliza a energia radiante. Também aparelhos individuais de ar condicionado foram instalados em várias salas, em alguns casos sendo necessário a retirada dos *brises* existentes.

Muito dos materiais originais foram substituídos de maneira imprópria, também comprometendo o desempenho do edifício. Há espaços em que o forro original de placas brancas foi substituído por lambris de madeira escura ou PVC (policloreto de vinila), comprometendo o aproveitamento de luz natural, quando em madeira, e o desempenho acústico, por ser mais reflexivo.

Os espaços também têm sido modificados. Muitas áreas destinadas a gabinetes de professores, sem proteção solar e com volume de ar reduzido, foram transformadas em salas de aula. Espaços de apoio e de circulação, com pouca ou nenhuma iluminação ou com aberturas orientadas para sul, foram convertidos em áreas de trabalho. Tais espaços apresentam condições de desempenho térmico e lumínico precárias.

Figura 14 - Modificações no conjunto: retirada dos brises externos para instalação de aparelhos de ar condicionado; ocupação de espaços de circulação; e troca de acabamentos (AUTORA, 2012).



Também as salas de aula originais foram modificadas de forma a atender novas demandas das disciplinas. No entanto, tais mudanças drásticas de uso não haviam

sido previstas na concepção do projeto original. Assim, as condições de habitabilidade desses espaços tornaram-se precárias em relação a iluminação, ventilação e dimensionamento. Em salas do pavimento superior destinadas a laboratórios de informática, a geometria do forro foi descaracterizada: antes acompanhavam a inclinação da cobertura, favorecendo a iluminação, e depois foram rebaixadas de forma a ficarem paralelas ao piso, bloqueando grande parte das esquadrias. Nesses casos, houve também a necessidade da instalação de equipamentos de climatização principalmente porque o volume de ar das salas ficou bastante reduzido, com pé direito bastante baixo.

O constante desdobramento das áreas de pesquisa e de ensino demandou também interferências nos espaços adjacentes à edificação (Figura 15). A ocupação dos vazios entre os blocos, ocupando os pátios que permeavam os blocos; e a construção de edifícios não previstos originalmente, segundo Imaguire Jr e Castro (*in* BURMESTER *et al.*, 2002), também comprometeu a unidade do conjunto. Tais modificações, somadas à falta de manutenção adequada e ao envelhecimento das estruturas, resultaram também em problemas de desempenho térmico e lumínico.

Figura 15 - Ocupação dos pátios abertos por áreas técnicas (AUTORA, 2012).



2.3.4 A preservação

Descritos na primeira etapa, os quatro pontos delimitados por Bruna (2010) que caracterizam uma obra Moderna podem ser aplicados ao edifício eleito como estudo de caso. O primeiro deles é observado na preocupação com a funcionalidade construtiva no edifício das Ciências Tecnológicas do Centro Politécnico. O pensamento racionalista, buscando não uma solução estética, mas o estudo científico do problema, levando em consideração ergonomia, iluminação, ventilação e eficiência. O edifício é dividido em áreas para atividades de grupos específicos e áreas de uso coletivo. Tem-se blocos para docentes e funcionários, separados volumetricamente dos blocos de salas de aula, diferindo não só em organização, mas também nos sistemas de iluminação e ventilação. Estes, agrupados em duplas, estabelecem áreas destinadas a cada departamento, que, coletivamente, fazem o uso dos blocos da biblioteca e da administração.

O segundo ponto trata da indução à mudanças do modo de vida e do comportamento social. A partir da tipificação dos usuários e das atividades, segundo as mesmas ideias da cozinha de Frankfurt (1926) ou do Modulor (1942), foi possível a replicação de um mesmo tipo de espaço ao longo dos blocos. A concentração dos gabinetes e dos espaços de organização dos cursos em blocos únicos permite a interação entre o corpo estruturador do curso. Ao mesmo tempo, esses blocos são adjacentes aos blocos didáticos, ou seja, a comunicação entre docentes e discentes é direta. E, ao mesmo tempo que cada curso tem blocos individuais, estes são permeados por circulações e fazem o uso de espaços comuns, como a biblioteca, a cantina e os auditórios.

A repetição desse tipo permitiu a padronização e industrialização dos componentes construtivos, desde a estrutura e as esquadrias, até o mobiliário. De maneira vinculada à atividade de projeto, cada peça deveria favorecer o estabelecimento de uma ordem; e facilitar tanto a sua construção quanto a sua manutenção, além de reduzir os custos. Essa racionalização do processo construtivo, como uma produção industrial, é o terceiro ponto identificável na obra.

Finalmente, o quarto ponto é sobre a presença do Estado na organização espacial das cidades. O Centro Politécnico, além de ser um dos pontos concretizados do Plano Agache de Curitiba, foi resultado de uma mobilização por parte dos governo para o fortalecimento da municipalidade como polo tecnológico e intelectual.

Com essa verificação da compatibilidade entre os quatro pontos e a edificação, pode-se identificá-la, então, como um exemplar da produção arquitetônica moderna de Curitiba. No entanto, essa valoração não deve ser reduzida a um estilo arquitetônico. Trata-se da materialização de um momento social, político, econômico, ideológico e tecnológico de uma organização urbana específica, de significância digna de interesse de preservação.

No entanto, após mais de meio século de uso, o edifício do Centro Politécnico não é uma exceção em relação à obsolescência tanto funcional quanto material. São observadas alterações que visavam de alguma forma adequar a edificação às novas demandas e expectativas: instalação de sistemas de ar condicionado, subdivisão de compartimentos, ocupação dos espaços livres, e trocas de revestimentos.

Essas alterações comprometeram, de formas variadas, os três pontos descritos durante a revisão bibliográfica: as intenções de projeto, a continuidade visual e a autenticidade material. As intenções de projeto foram comprometidas, por exemplo, pela descaracterização dos espaços internos e pela ocupação dos pátios livres. Ocupação esta que também compromete a continuidade visual prevista entre blocos, juntamente da instalação de cortinas; e da compartimentação de áreas de circulação. As alterações que comprometem a integridade da obra; e ignoram a importância, mesmo que relativa, da autenticidade material. É o caso da substituição das esquadrias do bloco da biblioteca e a troca dos acabamentos, ora resultante de deterioração material por falta de manutenção, ora de alteração de uso.

Este capítulo, explora as discussões sobre a readequação do patrimônio recente, e justifica a seleção do conjunto do Centro Politécnico como objeto de estudo dos capítulos seguintes. Eles apresentam análises quantitativas, explicam os problemas de desempenho, e fomentam a discussão sobre a permanência desse legado construído.

3

3 ANÁLISE DO CICLO DE VIDA ENERGÉTICO

Este capítulo toma como objeto de estudo o mesmo edifício da UFPR, e explora a proporção do consumo energético pré-operacional e operacional, englobando as etapas de construção do edifício, de manutenção dos materiais existentes, de substituição e/ou adição de novos elementos, e consumo de energia dos equipamentos elétricos. Para isso, foi utilizada a técnica de Análise de Ciclo de Vida Energético (ACVE).

A aplicação desse estudo a uma edificação que já ultrapassou 50 anos de uso objetiva balizar alterações, identificar oportunidades de eficiência energética e evitar soluções aleatórias na sua manutenção. Tem-se como público-alvo, desta maneira, profissionais e entidades envolvidos nesse processo de implementação, mas também profissionais, entidades, pesquisadores e usuários de outros edifícios públicos existentes com idade já avançada.

3.1 Fundamentação

A fim de subsidiar o entendimento do método, são apresentados, de forma objetiva, os conceitos nos quais este estudo está fundamentado.

3.1.1 Análise de Ciclo de Vida em edificações

Dentre suas diversas finalidades, a Análise de Ciclo de Vida (ACV) é utilizada para a avaliação e escolha de alternativas menos impactantes negativamente para o meio ambiente. O seu princípio consiste na elaboração da análise das repercussões ambientais de um produto/atividade a partir de um inventário, o qual contempla as entradas e saídas do sistema de produção considerado, tais como, matérias-primas, energia, produto, subprodutos e resíduos (SOARES e PEREIRA, 2004). O objetivo e o escopo da ACV devem englobar os itens ambientais do produto ou serviço estudado; e entre as categorias de impactos estudadas estão: mudanças climáticas, acidificação, eutrofização, destruição da camada de ozônio, uso do solo, qualidade do ecossistema, saúde humana, uso de recursos, etc.

Em 1997, foi publicada a norma ISO (*International Organization for Standardization*) de ACVs, posteriormente traduzida para norma brasileira (ABNT, 2009). Nela, a ACV é definida como uma técnica de avaliação de aspectos ambientais

e impactos potenciais associados a algum produto. Quando o produto a ser avaliado é uma edificação, a ACV torna-se mais complexa.

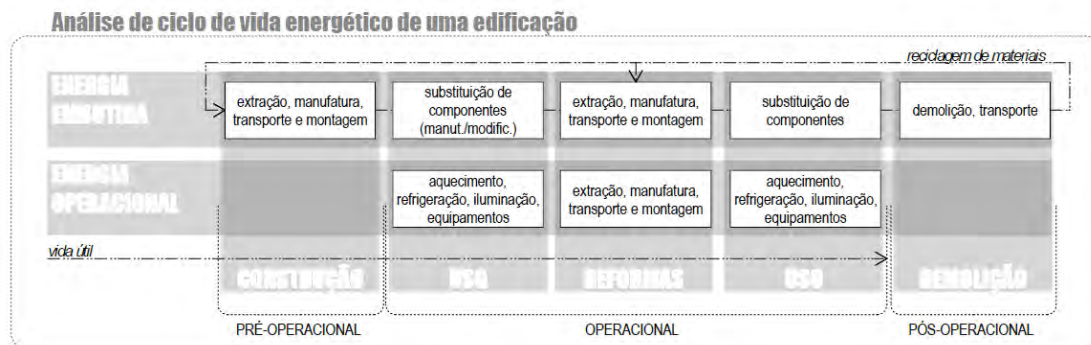
Entre os motivos dessa complexidade está a duração do ciclo de vida de um edifício, que pode se estender por mais de 50 anos e, conseqüentemente, trazer consigo diversas alterações e substituições de espaços, componentes e materiais. Além disso, a produção das edificações não é inteiramente seriada como de outros produtos. A sua montagem é *in loco*, tendo de ser adaptada de acordo com sua localização, função, componentes, mão-de-obra, infraestrutura, entre outros. Ou seja, cada caso é um caso; e o seu limite de abrangência é maleável, o que impede que o processo de análise seja tão linear quanto o de outros bens de consumo (BRIBIÁN, USÓN e SCARPELLINI, 2009).

A ACV, para que seja conduzida corretamente e com confiabilidade, é extensa e pode demandar muitos recursos além de tempo para ser concluída com sucesso. Para o presente estudo, o item ambiental de maior importância é o consumo de energia, e este pode ser o principal fator de impacto em um estudo de ciclo de vida (FAY, 1999). O consumo energético é um parâmetro importante para tomada de decisões mais sustentáveis na escolha de materiais e produtos (ABEYSUNDARA *et al.*, 2009). Portanto surge o conceito de Análise de Ciclo de Vida Energético.

3.1.2 Análise de Ciclo de Vida Energético (ACVE) em edificações

A ACVE é a avaliação que considera como parâmetro apenas a energia consumida pela edificação durante a sua vida e não substitui uma ferramenta mais ampla de avaliação ambiental como a ACV, mas sim, auxilia na tomada de decisões referentes à eficiência energética do projeto. Sendo que a análise do ciclo de vida energético da edificação é composta pela energia embutida total, energia embutida recorrente, energia operacional (FAY *et al.*, 2000), conforme Figura 16.

Figura 16 Energia consumida no ciclo de vida da edificação (esquema baseado em YOHANIS e NORTON, 2002).



a) Energia embutida

A energia embutida em um produto compreende a energia necessária para a extração, transporte e refino das matérias-primas dos materiais; e em seguida, para a fabricação de componentes e montagem do produto (TRELOAR *et al.*, 2001). Outra definição mais específica de energia embutida para edificações é dada por autores como Baird (1994); Edward and Stewart (1994); Howard and Roberts (1995); Lawson (1996); Cole and Kernan (1996) e Ding (2004), citados por DIXIT *et al.* (2010), segundo os quais a energia embutida compreende a energia consumida durante a extração, processamento e transporte da matéria-prima, manufatura dos materiais de construção e também componentes e energia utilizada pelos vários processos durante a construção e demolição do edifício.

A energia embutida em materiais substituídos em manutenções ou reformas na readequação de edifícios consiste na energia embutida recorrente (RAMESH *et al.*, 2010); e pode ser a energia de maior significância dentro de uma ACVE.

b) Energia operacional

É a energia necessária para a manutenção de condições de conforto ambiental e dia-a-dia de manutenção dos edifícios. É a energia para climatização (aquecimento, ventilação e ar condicionado), iluminação, e consumida pelos aparelhos elétricos. Energia operacional em grande parte varia de acordo com o nível de conforto térmico exigido pelas condições climáticas, finalidade da edificação e horários de funcionamento (RAMESH *et al.*, 2010).

3.2 Método

A edificação escolhida para ser analisada em termos energético é o bloco didático do Curso de Arquitetura e Urbanismo (Figuras 17 e 18) da UFPR.

Figura 17 Situação do bloco selecionado para ACVE (em destaque) dentro do campus da UFPR (AUTORA, 2014).

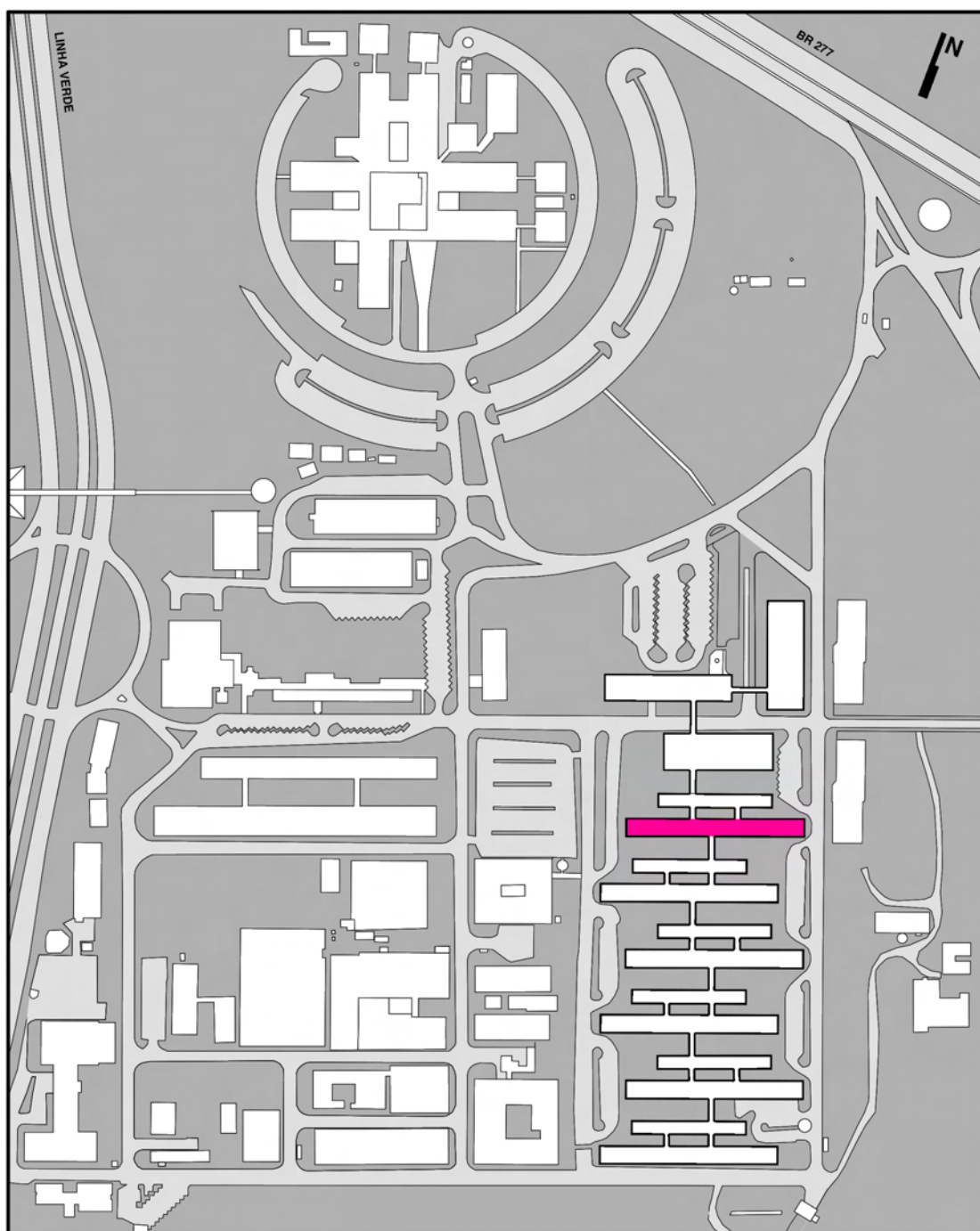
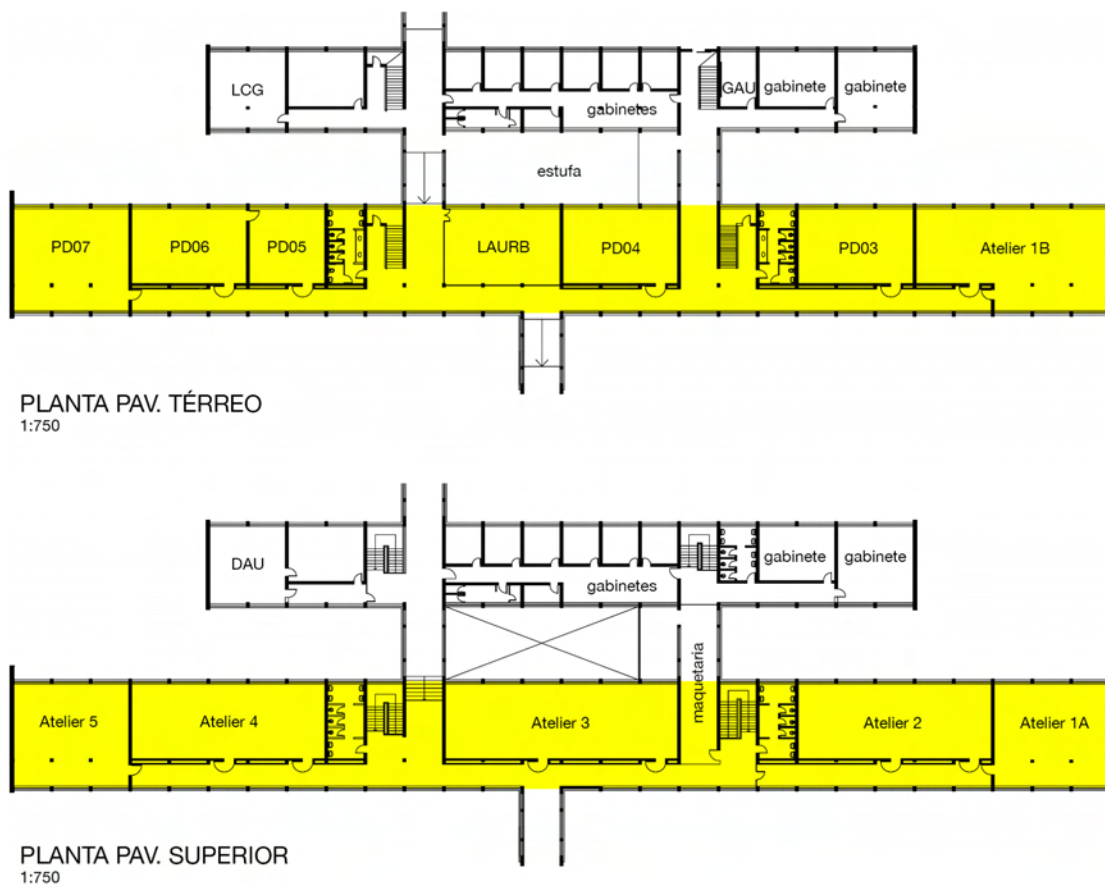


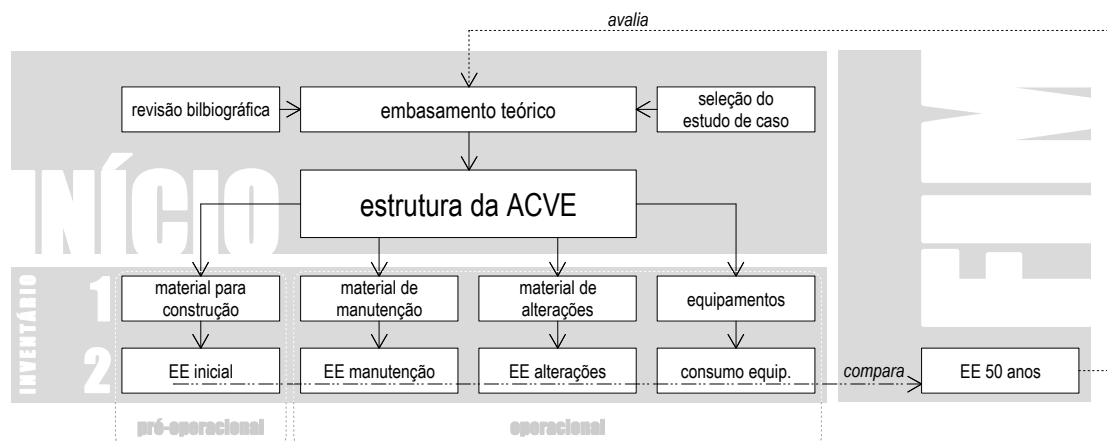
Figura 18 Plantas do conjunto de blocos do Curso de Arquitetura e Urbanismo da UFPR. Em destaque, o bloco objeto da ACVE (AUTORA, 2014).



Conforme Figura 19, três etapas compuseram a estratégia de trabalho:

1. Embasamento teórico: fundamentado por revisão bibliográfica e seleção de estudo de caso (início);
2. Inventário: levantamento do quantitativo de materiais e equipamentos, e cálculo de energia consumida na construção e operação da edificação;
3. Comparação: paralelo entre os consumos energéticos em cada uma das etapas, oferecendo subsídios para avaliação do embasamento teórico inicial.

Figura 19 Estratégia do trabalho (AUTORA, 2014)



Primeiramente, foi delimitado o escopo da AVCE que engloba o envelope, a estrutura e os acabamentos de um dos blocos didáticos do Centro Politécnico (Figura 16). A abordagem foi do tipo *cradle-to-gate*. Mais especificamente, contabilizou-se somente a energia embutida (EE) da edificação, na fase pré-operacional (EE inicial); a energia embutida recorrente (EE de manutenção e substituição na fase operacional); e a energia operacional estimada para os 50 anos. A energia gasta para transportes e trabalho humano dos operários bem como a energia embutida de demolição pós-operacional não entraram no escopo deste trabalho.

Para se conhecer os tipos de energia consumidas em tal edificação primeiramente foi realizado um inventário com os materiais de construção mais significativos utilizados na construção da edificação através do projeto original disponível na PCU-UFPR, em visitas ao edifício e nas Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos (TCPO).

Foram selecionados e quantificados os materiais referentes à estrutura, às vedações e aos acabamentos internos e externos, não contabilizando mobiliário e equipamentos. De acordo com West *et al.* (1994 *apud* ROAF, 2006), para as edificações comuns, os materiais que mais contribuem no montante total de energia embutida de uma edificação são: aço, concreto, madeira, tijolos, cimento, agregados, vidro e argamassa. Segundo Roaf (2006), estes materiais representam grande porção do consumo energético e dos impactos ambientais resultantes da edificação.

Após a definição dos elementos replicáveis, levantou-se a sua composição e seus quantitativos, que variaram de unidades a unidades medidas lineares, de área, de volume e de massa.

Já para a etapa de manutenção, não foram encontrados registros de rotinas de manutenção. Assim, baseou-se nas instruções de vida útil dos materiais inventariados na etapa de construção, conforme Tavares (2006). Tomou-se como base um período de 50 anos, portanto, como exemplo: um componente com vida útil de 10 anos precisou ser substituído cinco vezes.

Para a etapa de substituição verificou-se *in loco* as modificações realizadas ao longo do ciclo de vida de 50 anos desde a sua construção que alteraram o projeto original. Tampouco há registros dessas alterações disponíveis na PCU-UFPR. Neste caso, novos componentes, distintos dos que constam no inventário de construção, foram incluídos na tabela de materiais.

Com os quantitativos feitos, estes foram cruzados com os dados de energia embutida calculados por Tavares (2006) e Hammond e Jones (2008), e outros por eles levantados, obtendo o consumo de energia em megajoules (MJ). Desta forma, foi possível obter os valores totais para energia embutida nas etapas de construção, manutenção e substituição na edificação.

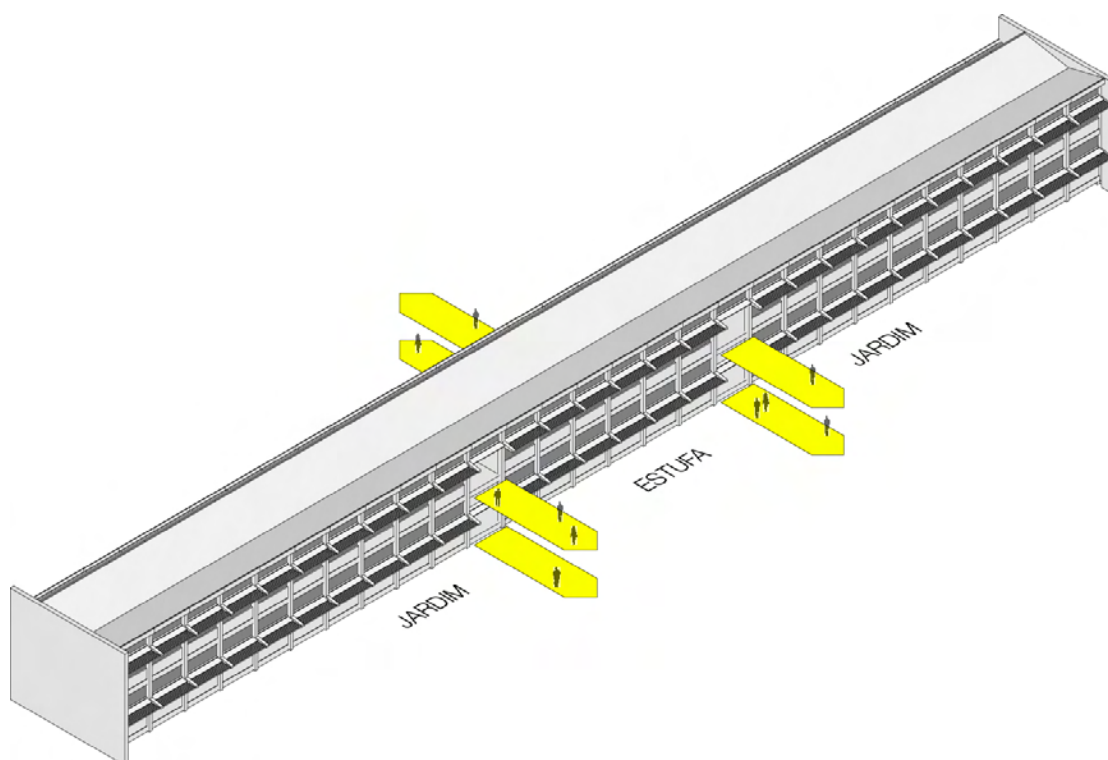
Em relação à energia consumida na operação dos equipamentos durante a utilização do edifício, foram contabilizados os consumos, para uma vida de 50 anos, das lâmpadas fluorescentes tubulares dentro das salas de aula, das lâmpadas incandescentes nas áreas de circulação, posteriormente substituídas por fluorescentes compactas; e dos computadores dos laboratórios, implantados também mais recentemente.

3.3 Resultados

3.3.1 Inventário

Com a análise da estrutura e da tecnologia de construção do edifício, pôde-se perceber que foi projetado em blocos repetidos, como uma estrutura composta de pilares e vigas pré-moldados em concreto, vedada por planos em alvenaria simples e esquadrias moduladas em ferro que se repetem por todo o edifício (Figura 20). Também os acabamentos foram padronizados por todo o edifício: revestimentos, forros, louças, metais e ferragens.

Figura 20 Isométrica do bloco analisado: a norte, duas conexões com o bloco de gabinetes dos professores do curso de Arquitetura e Urbanismo; e a sul, uma conexão com a sequência de blocos que compõem o conjunto. (AUTORA, 2014)



Desta forma, dentro das categorias de estrutura, envelope (alvenaria, cobertura e esquadrias) e acabamentos, foram selecionados seguintes elementos (Tabela 1):

Tabela 1 Materiais de construção considerados na ACVE

	Construção			Manutenção			Substituição		
	material	quantidade	EE (MJ)	material	quantidade	EE (MJ)	material	quantidade	EE (MJ)
Estrutura	concreto	561m ³	876423	-	-	-	-	-	-
	armadura CA-50	44880 Kg	1557336	-	-	-	-	-	-
	armadura CA-60	4488 Kg	148777	-	-	-	-	-	-
Cobertura	ferragens	302 Kg	20043	-	-	-	-	-	-
	telhado fibroc.	1796 m ²	105273	-	-	-	-	-	-
	rufo	403 m	22094	rufo	403 m	44188	-	-	-
	calha	540 m	29594	calha	540 m	59187	-	-	-
	tubo queda	244 m	17717	tubo queda	244 m	35435	-	-	-
Alvenarias	alv. acabada	7017 m ²	817726	-	-	-	-	-	-
Acabamentos	pintura	2528 m ²	39192	pintura	7692 m ²	224174	-	-	-
	rev. cerâmico	4489 m ²	304347	-	-	-	forro madeira	6804 kg	98616
	granitina	1177 m ²	136909	-	-	-	-	-	-
	piso tacos	2084 m ²	130811	-	-	-	piso borracha	336 kg	30576
	forro eucatex	1798 m ²	49625	forro eucatex	1798 m ²	49625	-	-	-
Esquadrias	esq. ferro+vidro	1085 m ²	286446	esq. ferro	1128 m ²	141288	esq. mad.+vidro	210 m ²	48557
	portas	85 ud	10579	portas	85 ud	10579	-	-	-
	brises alum.	415 kg	64326	brises alum.	415 kg	64326	-	-	-
	brises mad.	5778 kg	57784	brises mad.	5778 kg	57784	-	-	-

Para o cálculo da energia de operação do edifício foi considerada apenas a energia elétrica consumida para o funcionamento de aparelhos e iluminação, visto que é uma instituição de ensino. Na Tabela 2 são apresentados os equipamentos inventariados para a análise.

Tabela 2 Inventário de equipamentos

Equipamento	quant.	pot. (W)	h/dia	dias/ano	kWh/ano	anos	total(kWh)	total(MJ)
Lâmp. incandescente	140	40	8	250	11200	25	280000	1008000
Lâmp. fluoresc. compacta	70	9	8	250	1260	25	31500	113400
Lâmp. fluoresc. tubular	624	28	8	250	34944	50	1747200	6289920
Computador	12	300	6	250	5400	15	81000	291600
Total							2139700	7702920

É importante notar, também, que no bloco analisado não há equipamentos de climatização instalados, ao contrário do observado em alguns espaços didáticos e administrativos em outros blocos do conjunto.

3.3.2 Cálculo da energia embutida

A partir dos cálculos descritos anteriormente, foram obtidos os seguintes valores totais de energia embutida (Tabela 3):

Tabela 3 Energia embutida (MJ)

	Construção	Manutenção	Substituição	TOTAL	%
Estrutura	2582536	0	0	2582536	47%
Cobertura	194722	138810	0	333532	6%
Alvenarias	817726	0	0	817726	15%
Acabamentos	660884	273799	98616	1033299	19%
Esquadrias	419136	273978	48557	741671	13%
TOTAL	4675004	686587	147173	5508764	100%
%	85%	12%	3%	100%	

Analisando os dados obtidos, nota-se que a etapa de construção (energia embutida inicial) é a que mais consome energia, deixando apenas 15% para as demais fases. A fase de substituição foi a que menos consumiu (3%).

Percebe-se, ainda, que a estrutura em concreto é a maior consumidora de energia na fase de construção, representando 55% do total consumido na construção. Mesmo sem demandar nenhuma manutenção no período de 50 anos, nem tampouco ser substituída, ela continua representando grande parte (47%) de toda energia embutida nos 50 anos de vida da edificação.

Além disso, quando se analisa a energia embutida de construção das esquadrias e dos acabamentos, percebe-se que esta energia embutida inicial representa mais da metade (60%) da energia embutida total nos 50 anos. Muito similar ao caso da cobertura, em que a energia embutida inicial de construção representa 58% do total.

Sobre a energia consumida pelo uso de equipamentos na fase de operação, chegou-se à conclusão que o consumo energético para iluminação é o mais representativo (96%), conforme Tabela 4.

Tabela 4 Consumo energético por equipamentos em 50 anos (MJ)

Consumo energético por iluminação	7411320	96%
Consumo energético por uso de computadores	291600	4%
Energia total	7702920	100%

3.4 Análise crítica

A fase de construção de uma edificação demanda insumos materiais e energéticos em grande escala a serem consumidos em um período de tempo curto, quando comparado à vida útil da edificação. As fases de manutenção e substituição, conforme se observa nos resultados, representaram uma parte menor (15%) de energia embutida total dos materiais. No entanto, quando se compara o consumo energético embutido total dos materiais ao consumo energético operacional de equipamentos da edificação, percebe-se que a duração do ciclo de vida da edificação torna o consumo operacional mais significativo que o embutido, conforme Tabela 5.

Tabela 5 Consumo energético total em 50 anos (MJ)

Energia embutida (EE inicial + EE manutenção + EE substituição)	5508764	42%
Energia operacional consumida por equipamentos	7702920	58%
Energia total	12875095	100%

Comparando os dados levantados com as pesquisas realizadas em outros países, percebe-se uma discrepância bastante significativa. Nos 73 estudos de caso em 13 países diferentes realizados por Ramesh *et al.* (2010), a energia operacional significou entre 80 e 90% de toda energia consumida durante o ciclo de vida das edificações estudadas, enquanto a energia embutida representou entre 10 e 20%. Uma diferença bastante maior (entre 50 e 60 pontos percentuais) do que a observada no presente estudo, em que as energias embutida e operacional tem apenas 16 pontos percentuais de diferença entre si.

Conforme Tabela 6, se a energia embutida for discriminada em suas fases de construção, manutenção e substituição, nota-se que a construção representa 35% do total consumido em 50 anos. Se ainda a energia operacional por equipamentos for separada em consumo por computadores e consumo por iluminação, percebe-se que o consumo das lâmpadas representa 56% do consumo total em 50 anos. Nesse contexto geral, a energia consumida nas alterações da edificação representa apenas 1% do total, enquanto a manutenção representa 5%.

Tabela 6 Consumo energético discriminado em 50 anos (MJ)

Consumo energético na construção da edificação (EE inicial)	4675004	35%
Consumo energético na manutenção da edificação (EE manutenção)	686587	5%
Consumo energético na alteração da edificação (EE substituição)	147173	1%
Consumo energético na iluminação	7411320	56%
Consumo energético no uso de computadores	291600	2%
Energia total	13211684	100%

Sobre tais resultados, destacam-se quatro limitações do trabalho. A primeira delas é que se considerou a construção da edificação como processo genérico similar ao atual, ignorando as condições específicas da época de construção.

A segunda limitação diz respeito à energia gasta na manutenção da edificação. Não há um histórico nem uma rotina padrão das intervenções de manutenção na edificação selecionada. Assim, foram utilizados os dados fornecidos pelos próprios fabricantes dos materiais, organizados por Tavares (2006). No entanto, pode-se perceber pelo estado atual da edificação que a manutenção sugerida a vários elementos não é realizada. Ou seja, a energia de manutenção efetiva é menor do que a calculada, o que calha em elementos mal conservados que tendem a ser substituídos.

A terceira é a respeito da precisão dos dados de substituição dos materiais. Como o cálculo da energia de substituição depende da comparação entre o projeto original e as condições atuais da edificação, desconsideraram-se eventuais estados intermediários que possam ter ocorrido.

A última limitação a ser destacada é sobre a abrangência do trabalho. Trata-se de uma edificação composta por uma sucessão de blocos similares. Assim, mesmo que para o presente trabalho tenha se estudado apenas um bloco didático do edifício, podem-se estender as conclusões aos demais. Isso porque a diferença entre eles está apenas nas alterações do projeto original, que representam somente 1% do total de energia consumida no ciclo de vida. Também o método de abordagem utilizado pode ser aplicado não apenas nos demais blocos como também em outras edificações.

4

4 ANÁLISE DO DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO E LUMÍNICO

Depois de 50 anos da construção do estoque de arquitetura moderna e com o consequente envelhecimento desses edifícios, a necessidade de adaptação e de medidas de readequação emergem em um contexto sem rotinas de manutenção ou estratégias globais de intervenção. Considerando essa situação, este capítulo apresenta um estudo de caso conduzido em porções do mesmo edifício anteriormente explorado.

Como pergunta tem-se: como implementar a melhoria da performance térmica e de iluminação natural de um edifício moderno existente no clima temperado, tendo em mente sua base conceitual? Para isso, como esse edifício responde ao clima e que estratégias são adequadas para sua efficientização? Como objetivo, tem-se o de descrever o desempenho atual da edificação e testar possíveis medidas de readequação.

4.1 Método

Este capítulo apresenta um estudo de caso dividido em três etapas, uma descritiva e duas explicativas. Primeiramente são descritas as condições climatológicas locais. Posteriormente, explica-se quantitativamente os desempenhos térmicos e de iluminação natural parciais do complexo: metade de um bloco didático para a análise térmica, e uma sala de aula para análise lumínica. Ambas as análises foram conduzidas através de simulação computacional no Sistema de Simulação de Desempenho Mestre (SCHMID, 2004; SCHMID e GRAF, 2011), e seguiram três passos:

1. identificação de desempenho insatisfatório e suas causas;
2. simulação do estado atual;
3. simulação da aplicação de medidas de readequação.

Ao se analisar a condição atual e uma condição modificada, pode se verificar a relação entre o tratamento e o sistema.

4.2 Descrição das condições climatológicas locais

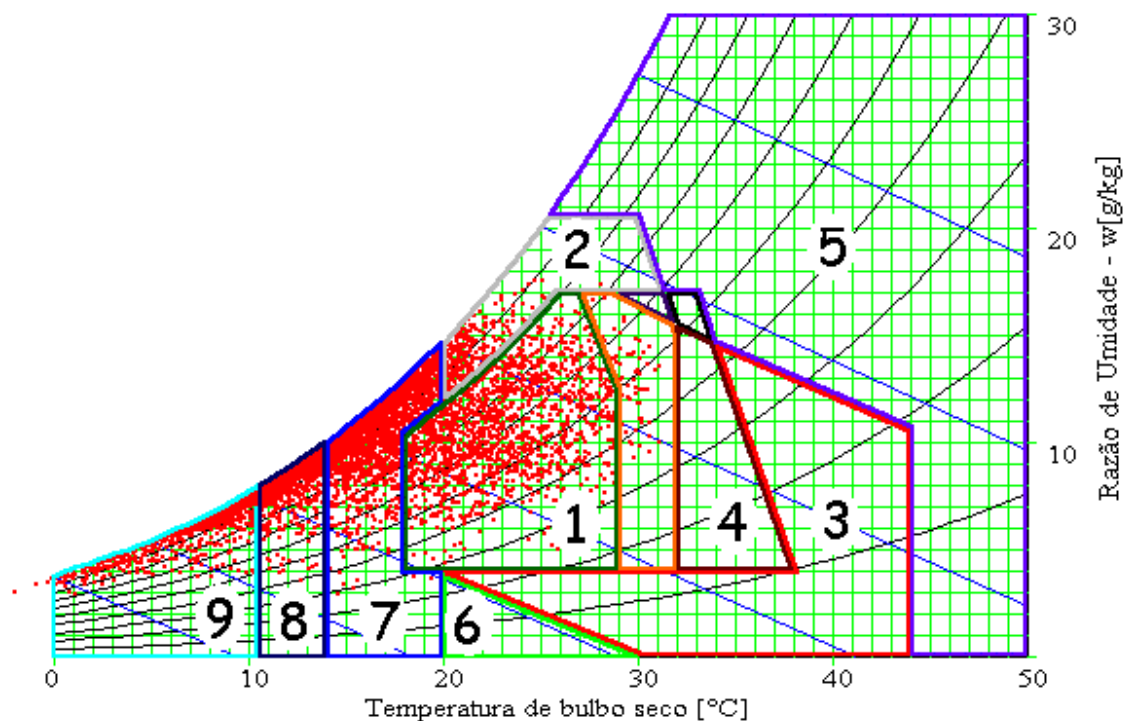
Curitiba, capital do Estado do Paraná, está a 908 metros acima do nível do mar. Localizada na latitude 25° 31' S e longitude 49° 10' W, tem classificação de clima "Cfb", de acordo com a classificação "Köppen-Geiger". Ou seja, clima temperado quente e úmido, com verões quentes. Frentes frias advindas da Antártica e da Argentina trazem tempestades tropicais no verão e ventos frios no inverno. Elas podem se mover rapidamente, com não mais de um dia entre o início dos ventos sul e o início da chuva. o Clima de Curitiba é também influenciado pelas massas de ar secas que dominam o centro-oeste do Brasil na maior parte do ano, propiciando temperaturas mais altas e menor umidade muitas vezes até durante o inverno.

Devido a sua altitude, Curitiba é a mais fria de todas as capitais brasileiras, mesmo estando a 600km a norte da capital mais a sul, Porto Alegre, que está ao nível do mar. A média de temperatura mínima mensal durante o inverno é de 7°C, sendo que pode atingir 0°C nas noites mais frias. Eventos de neve são ocasionais: 1889, 1892, 1912, 1928, 1942, 1955, 1957, 1962, 1975 e em 2013. No verão, as temperaturas permanecem próximas a 20°C, mas podem atingir 30°C nos dias mais quentes. Ondas de calor durante o inverno e de frio durante o verão não são incomuns; e mesmo durante um mesmo dia pode haver grande variação térmica - característica típica do clima subtropical.

O terreno plano de Curitiba impede uma drenagem muito rápida depois das chuvas e, assim, propicia o acúmulo de vapor d'água na atmosfera. As montanhas ao redor da área plana formam um raio aproximado de 40km. Como elas bloqueiam parte dos ventos, a formação de neblina sobre a cidade nas manhãs frias é facilitada.

Conhecendo as condicionantes, como as edificações devem se comportar para atingir padrões aceitáveis de conforto térmico? Goulart, Lamberts e Firmino (1998) apresentam a carta bioclimática da cidade de Curitiba, indicando as estratégias de projeto mais adequadas para cada período do ano (Figura 21). Deve-se observar que em tal trabalho, os autores se baseiam nas zonas definidas por Givoni (1992), que realizou uma pesquisa voltada para edifícios residenciais, não climatizados, em regiões quentes.

Figura 21 - Carta Bioclimática de Curitiba (GOULART, LAMBERTS *et* FIRMINO, 1998).
 1- Zona de Conforto; 2 - Ventilação; 3 - Resfriamento Evaporativo; 4 - Massa Térmica para Resfriamento; 5 - Ar Condicionado; 6 - Umidificação; 7 - Massa Térmica e Aquecimento Solar Passivo; 8 - Aquecimento Solar Passivo; 9 - Aquecimento Artificial



De acordo com as diretrizes internacionais (EN15251, 2007), o máximo de umidade interna em termos de conforto ambiental é de 12g/kg. Em Curitiba, a umidade absoluta do ar externo excede esse valor durante muitas horas no verão. Assim, desumidificação é frequentemente necessária para atingir condições de conforto internamente aos edifícios, ao contrário da umidificação (área 6 da Figura 21).

Por conta dessa umidade elevada, o uso de sistemas de resfriamento de superfície com fluxo relativamente alto é muito restrito. Nesse caso, um controle automático de ponto de orvalho seria inevitável. No entanto, percebe-se que a quantidade de horas de resfriamento identificadas no gráfico é pequena; e que a maioria delas pode ser resolvida por meio de ventilação natural (área 2 da Figura 21).

Também se nota no gráfico que a maior parte dos dados de temperatura indicam que o aquecimento é necessário para manter o conforto térmico (áreas 7, 8 e 9 da Figura 21). Isso significa que o conforto térmico no inverno é uma condicionante relevante nas propostas de alterações físicas no edifício do Centro Politécnico.

Em relação à radiação solar, Curitiba apresenta uma pequena variação sazonal, mas mesmo no inverno, o potencial da energia solar é bastante elevado. Com mais de 1.440 kWh/m²a, o total de entrada de energia solar é cerca de 45% maior que na Europa Central.

4.3 Análise do desempenho térmico

As fachadas principais dos blocos têm orientação norte-sul: com as áreas de estudo e trabalho para norte; e circulações para sul. As fachadas norte têm grande ganho de calor durante o inverno, melhorando a performance térmica dos espaços de permanência. Por outro lado, nos dias de inverno nublados, as temperaturas internas ficam apenas alguns graus mais elevadas que a externa; e longe do que Fanger (1970) propôs como condição humana de conforto térmico e ao sugerido pela norma internacional de conforto térmico, ISO 773 (2005).

De acordo com essa equação, se a temperatura do ar e a temperatura radiante forem de 15,2°C, com 80% de umidade, 0,1m/s de ventilação, durante uma atividade sedentária (1 met), tem-se a necessidade de roupas pesadas ($\text{clo} = 2,3$) para atingir a neutralidade ($\text{PMV}=0$). Se as roupas forem mais leves, como um terno leve, a sensação será de frio ($\text{PMV}=-2$, de um mínimo de -3). Ou seja, em uma temperatura de meia estação é necessário se trabalhar com roupas pesadas para encontrar o equilíbrio térmico. No inverno, essa condição torna-se ainda mais difícil de ser alcançada.

A maior causa da perda de calor durante o inverno não está nas paredes de alvenaria simples (que aparecem como duplas nos projetos originais), mas nas esquadrias de vidro. Não apenas por sua área grande de vidro simples, mas também pela quantidade de infiltração de ar externo. Devido à falta de manutenção e à exposição ao clima, as janelas basculantes estão desajustadas e oxidadas (Figura 22), o que levou à ruptura de alguns eixos. Muitas delas são difíceis

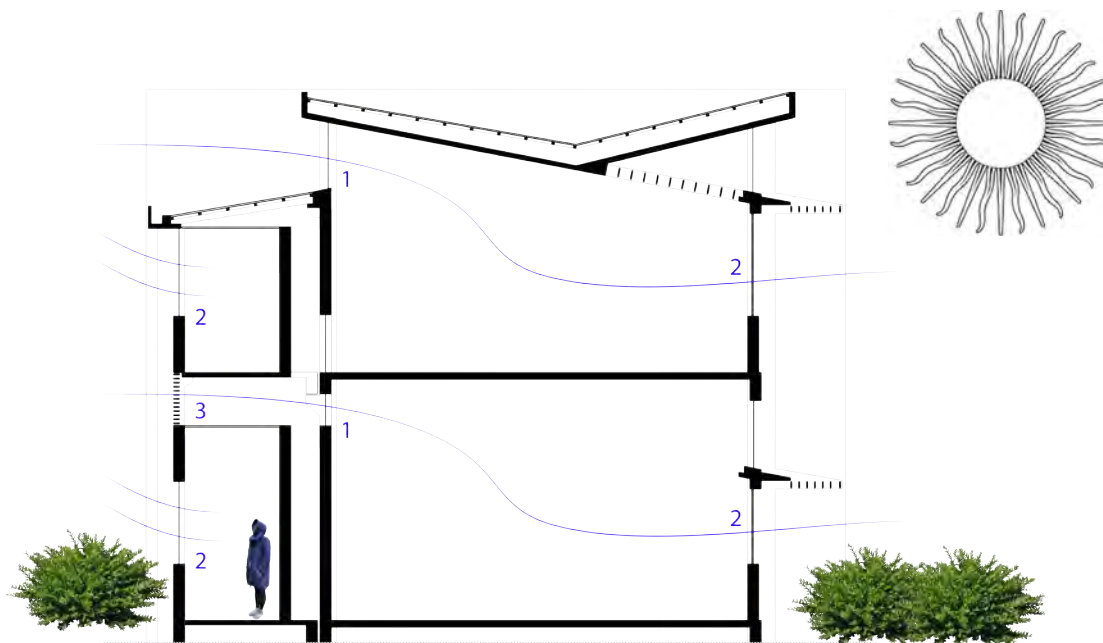


Figura 22 - Esquadrias oxidadas, com taxa de infiltração de ar elevada e com operabilidade comprometida (AUTORA, 2012).

de operar, de forma que durante o inverno as salas são ventiladas em excesso, enquanto que no verão a troca de ar é insuficiente.

Outro problema é a falta de sistema de aquecimento, possivelmente não instalado devido aos custos operacionais e de instalação na época da construção do conjunto, quando tais sistemas eram raros no Brasil.

Figura 23 - Corte esquemático do bloco didático do curso de Arquitetura: à esquerda a fachada norte, e à direita fachada sul (AUTORA, 2014).



Na Figura 23, observa-se o funcionamento original do sistema de ventilação passiva. Na ausência de sistemas ativos, foram previstos sistemas de ventilação passiva: dutos de ventilação cruzada interligando porão, salas de aula e aberturas sul sobre o forro do pavimento térreo (saídas marcadas como 3). No entanto, eles foram fechados devido à falta de manutenção. As esquadrias marcadas como 1 são operáveis, altas e permitem a ventilação cruzada dentro do ambiente. No pavimento térreo são voltadas ao duto de ventilação. Já as aberturas marcadas como 2 são operáveis (eixos horizontais) e fazem ligação direta entre os meios interno e externo a altura dos usuários. Muitas delas encontram-se com operação comprometida devido à oxidação, conforme mostra a Figura 22.

Não apenas as alterações comprometem o funcionamento do complexo. Nas salas de aula, mesmo nas que permanecem conforme estado original, elementos de proteção solar interno e externos foram previstos para bloquear a incidência de luz direta. Apesar de conceitualmente corretos, tecnicamente sua modulação não é

precisa o suficiente e permite a entrada de luz direta durante a tarde (Figura 24). Essa imprecisão aumenta o desconforto dos usuários tanto em termos térmicos quanto lumínicos.

Figura 24 - A modulação dos brises permite passagem de luz direta, conforme foto do bloco do curso de Arquitetura (AUTORA, 2012).



Outra grande crítica ao conjunto é a falta de espaços de encontro. No projeto original, tem-se seis praças internas próximas às passarelas que fazem a conexão entre blocos. Esses espaços livres, que orientariam o fluxo de pessoas, são utilizados como laboratórios e espaços de apoio. Ou seja, tanto a orientação quanto o convívio foram prejudicados. Para compensar essa falta de espaços de encontro, o Curso de Arquitetura e Urbanismo implantou uma cobertura translúcida sobre um dos pátios externos e transformá-lo em uma praça protegida. De fato, tornou-se um dos pontos de encontro mais utilizados pelos alunos do Curso. No entanto, prejudicou o funcionamento de todos os espaços que se abrem para ele, em relação à luz, ao calor e aos ruídos (Figura 25).

Figura 25 - Ocupação dos pátios abertos: vista da estufa no bloco de Arquitetura (AUTORA, 2012).



Por fim, o escurecimento gradual das telhas de cobertura em fibrocimento, que já não colaboravam com bom desempenho térmico dos espaços internos, tornando-os mais sujeitos à radiação térmica (Figura 36).

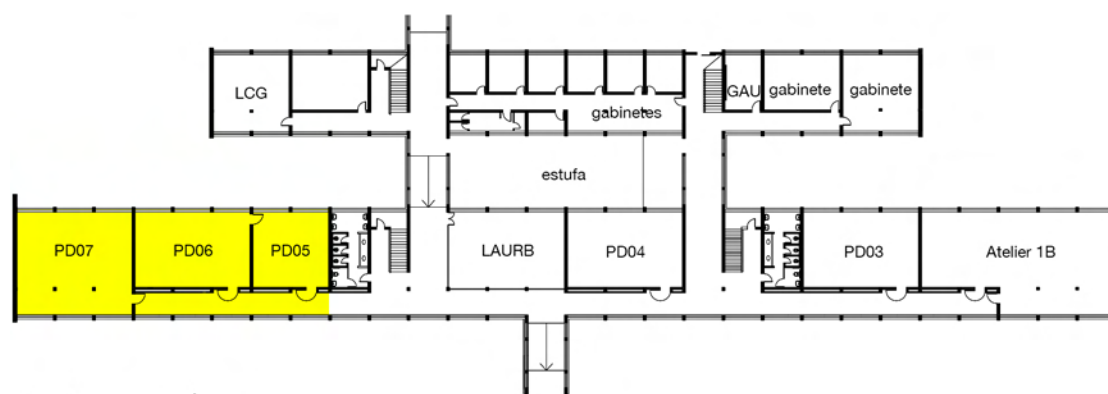
Figura 26 - Vista do edifício da Administração: coberturas escurecidas (AUTORA, 2012).



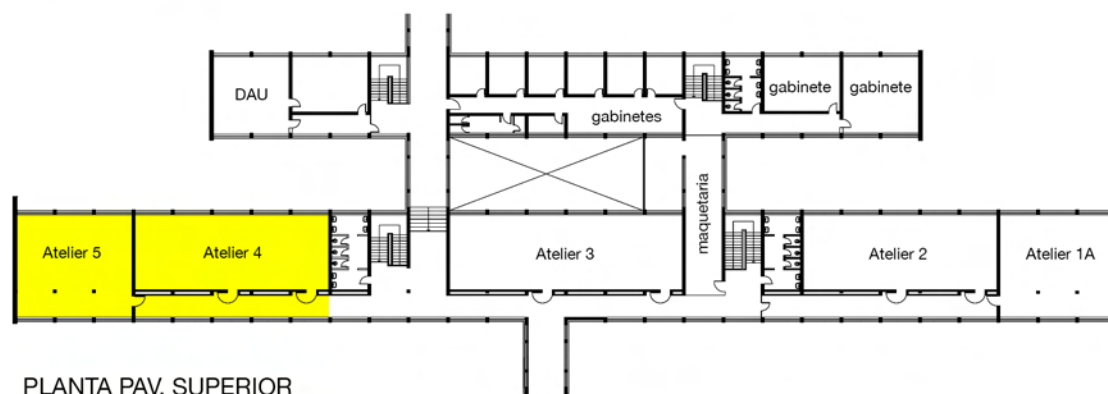
4.3.1 Simulação térmica de parte do bloco didático

Como o edifício é composto por blocos simétricos replicados, foi escolhido um trecho que representasse maior parte dos ambientes didáticos, com menor quantidade de modificações. Desta forma, simulou-se parte do bloco didático de Arquitetura (contendo 2 *ateliers* superiores, 3 salas de aula térreas e áreas de circulação, sem sistemas de climatização), limitada em uma extremidade pela parede externa existente ao fim de todos os blocos; e na outra por uma parede adiabática, para simular a continuidade da área construída. Esses ambientes, representados nas Figuras 27 e 28, foram modelados no Sistema Mestre de Simulação de Desempenho (SCHMID e GRAF, 2011).

Figura 27 - Plantas do conjunto de blocos do Curso de Arquitetura e Urbanismo da UFPR. Em destaque, os espaços simulados termicamente (AUTORA, 2014).

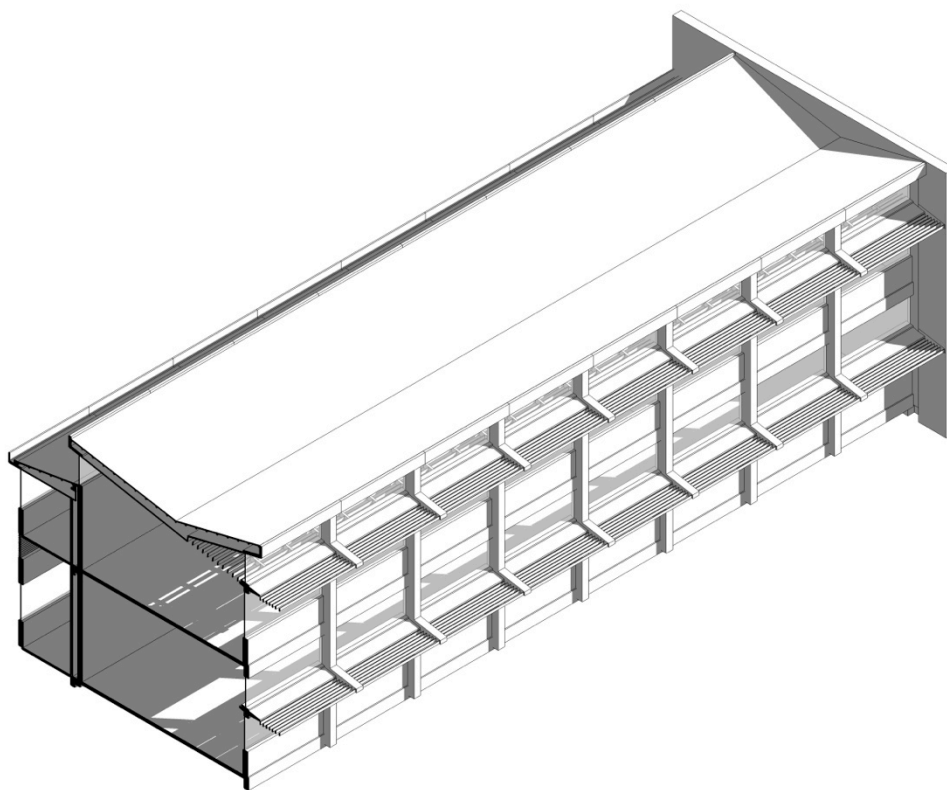


PLANTA PAV. TÉRREO
1:750



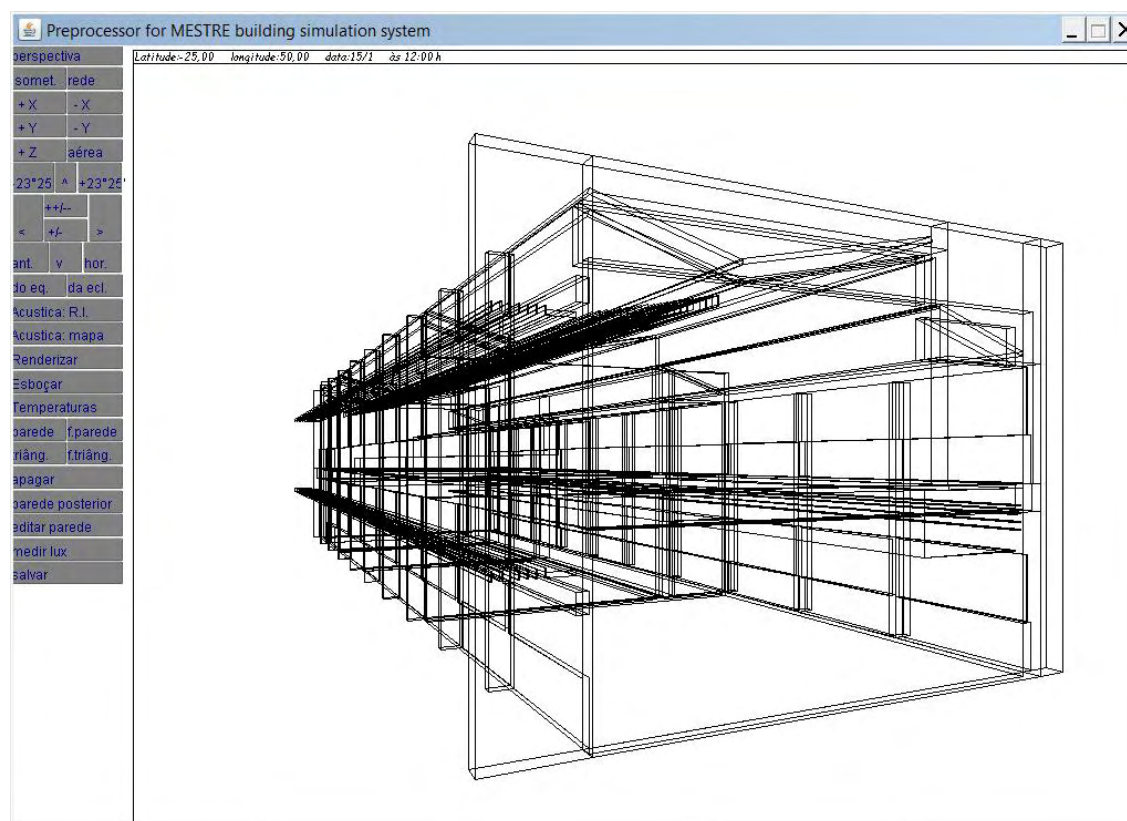
PLANTA PAV. SUPERIOR
1:750

Figura 28 - Perspectiva em isométrica do trecho simulado do edifício. Onde está localizado o corte, está prevista a parede adiabática na simulação. Proteções solares na fachada norte em evidência, fachada sul oculta (AUTORA, 2014).



O modelo compreende 17 zonas térmicas, e inclui estrutura, vedações, elementos de proteção solar e acabamentos, num total de mais de 300 elementos, conforme mostra a Figura 29. Ele foi simulado em condições de tempo, temperatura externa, geometria e intensidade de insolação.

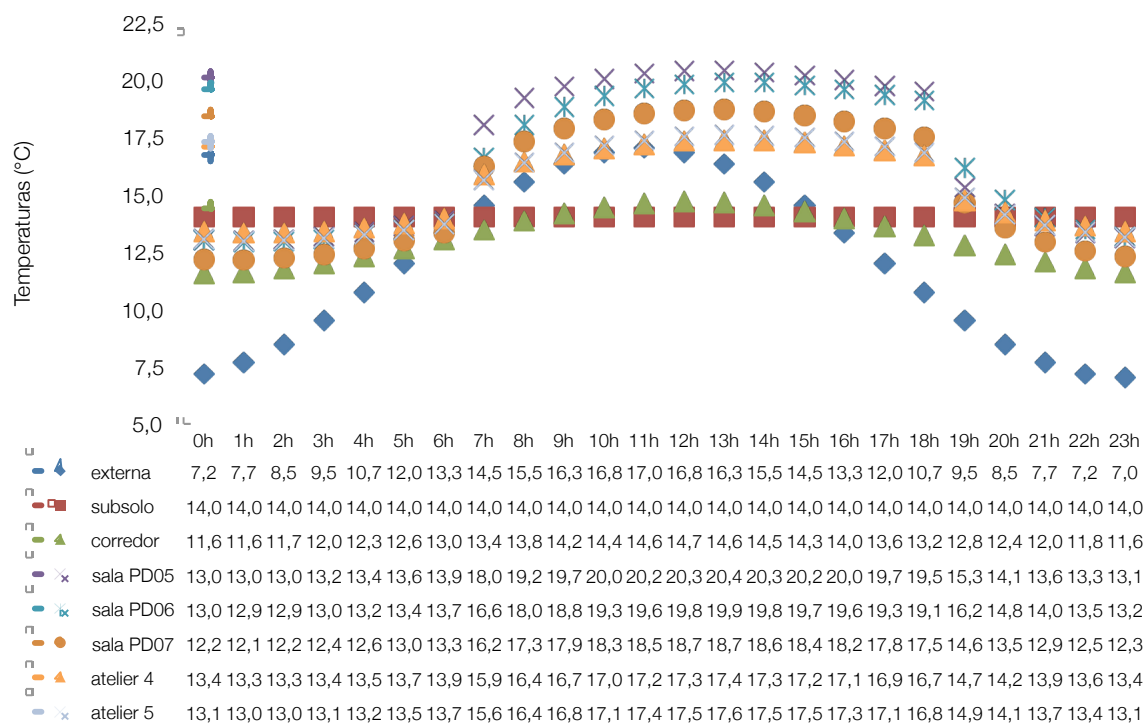
Figura 29 - Geometria construída no Sistema Mestre (SCHMID e GRAF, 2011).



Tomou-se como padrão de referência a sala PD07 (sala térrea da extremidade, que tem aberturas norte e sul), já que esta será também objeto de análise do aproveitamento de luz natural. As simulações foram baseadas nas condições climáticas médias do dia 15 de julho, respeitando a taxa de ventilação higiênica determinada pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) de $27\text{m}^3/\text{h}$ (BRASIL, 1998), maior do que o sugerido pela *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers* (ASHRAE, 2005), de $22\text{m}^3/\text{h}$, para cada um dos 15 ocupantes em atividade sedentária.

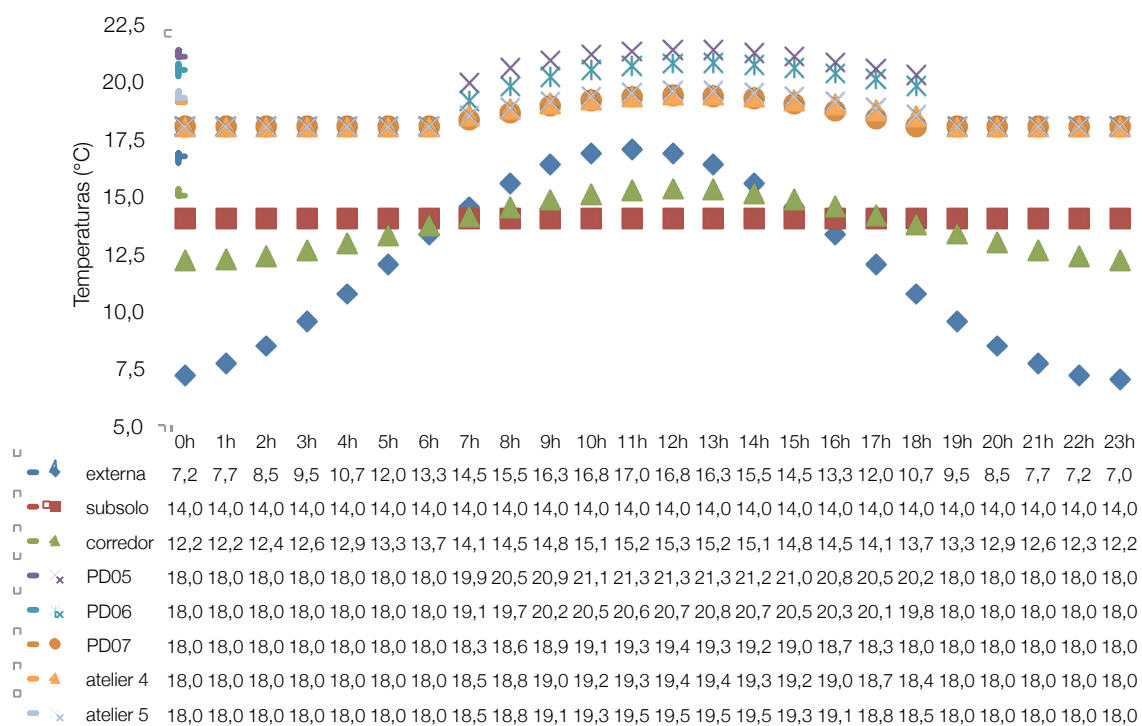
A primeira simulação foi da estrutura existente, sem sistema de aquecimento, atingindo a temperatura interna média diária de 15,2°C (Gráfico 1).

Gráfico 1 - Temperaturas estimadas para 15/07 sem implementações - estado original (AUTORA, 2014).



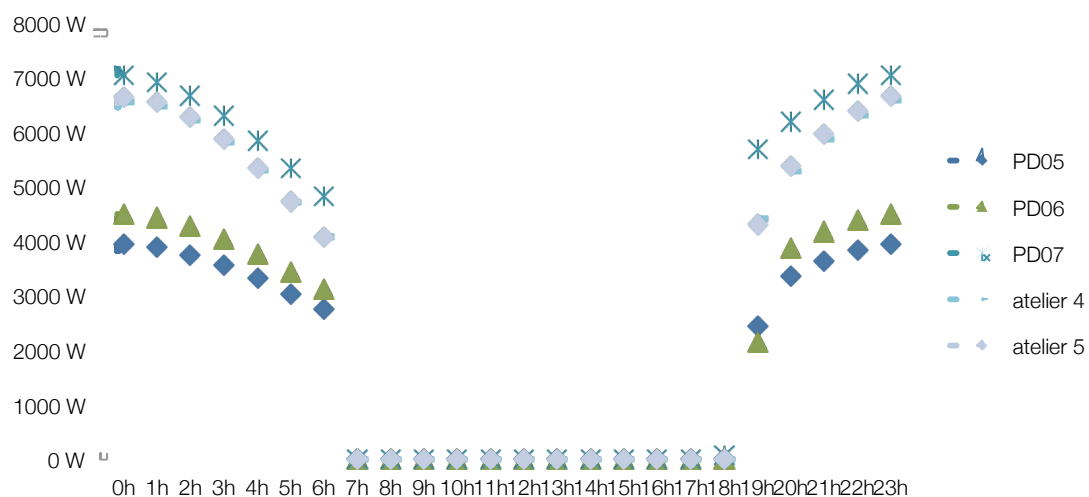
A próxima situação simulada foi com a inclusão de sistema de aquecimento de ar, que manteve as temperaturas das salas de aula e ateliers em ao menos 18°C (Gráfico 2).

Gráfico 2 - Temperaturas estimadas para o dia 15/07 com sistema de aquecimento (AUTORA, 2014).



O Gráfico 3 mostra o consumo energético ao longo do dia para manter a temperatura interna acima de 18°C. O consumo mensal para a sala de pior desempenho (PD07) foi calculado em 1885 kWh para 25 dias úteis. Nas horas mais quentes do dia, o sistema pode ser desligado.

Gráfico 3 - Consumo energético diário com sistema de aquecimento (AUTORA, 2014).



A segunda simulação considerou a adição de outra implementação: a substituição dos vidros simples por vidros duplos. Os gráficos 4 e 5 mostram respectivamente as temperaturas internas e os consumos energéticos hora a hora para manter as temperaturas internas a 18°C. Com mais essa implementação, o consumo mensal para climatização da sala PD07 chegou em 1618kWh. Ou seja, uma redução de 14%.

Gráfico 4 - Temperaturas estimadas para o dia 15/07 com sistema de aquecimento e vidros duplos (AUTORA, 2014).

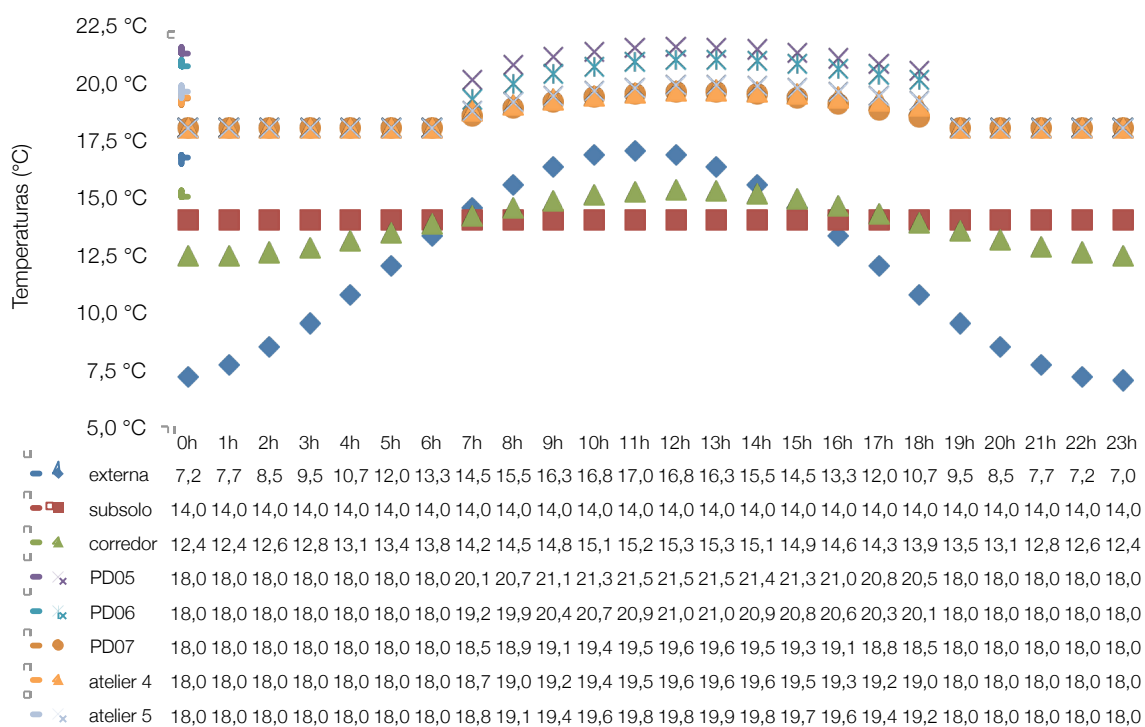
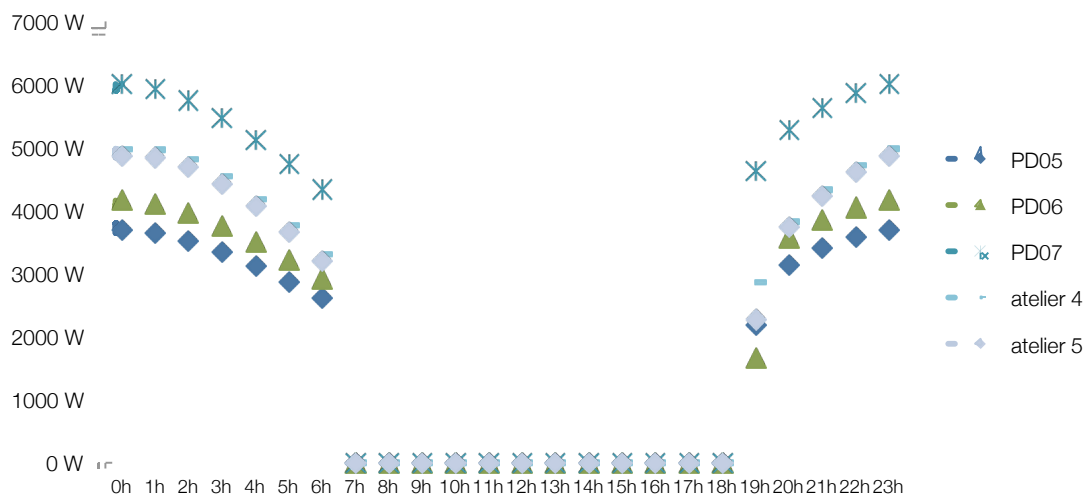
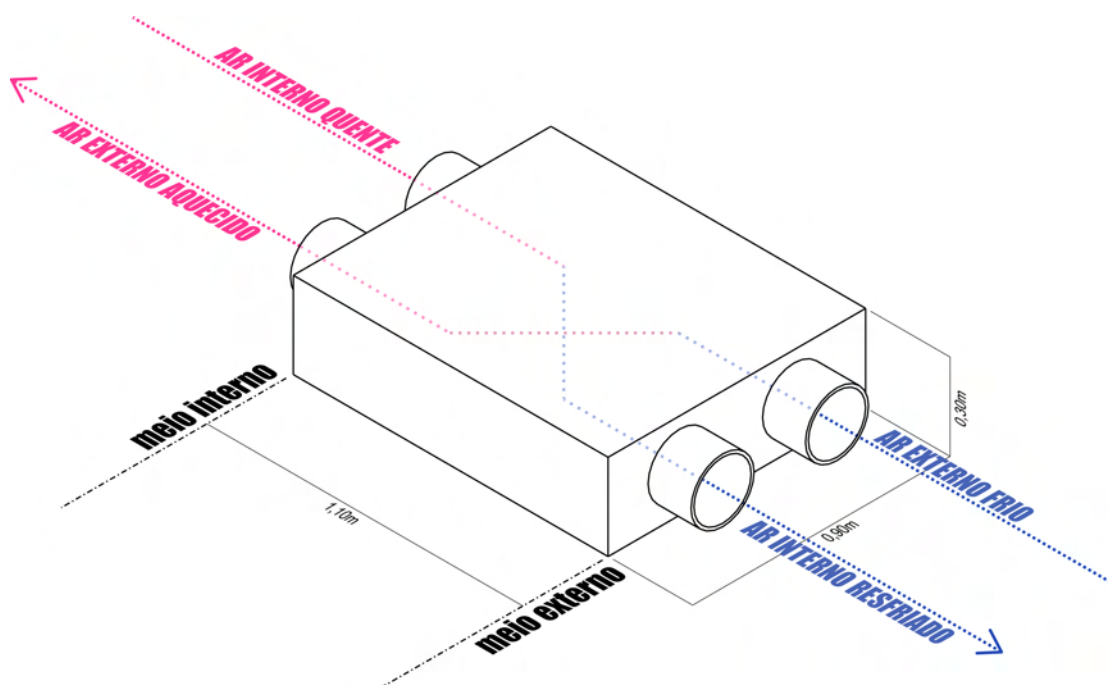


Gráfico 5 - Consumo energético diário com sistema de aquecimento e vidro duplo (AUTORA, 2014).



Por fim, simulou-se a adoção de um sistema de ventilação com recuperação de calor, conforme ilustra a Figura 34.

Figura 30 - Esquema funcional e dimensional de uma unidade de recuperação de calor (AUTORA, 2014).



Nesse caso a ventilação mínima não seria mais promovida pelas esquadrias. Durante a ventilação, 90% do calor do ar interno é recuperado, reduzindo a 10% a taxa de entrada de ar à temperatura externa. O efeito dessas implementações foi um gasto

de 1163kWh, 38% menor do que o consumido com somente a instalação o sistema de aquecimento.

Gráfico 6 - Temperaturas estimadas para o dia 15/07 com sistema de aquecimento, vidros duplos e ventilação com recuperação de calor (AUTORA, 2014).

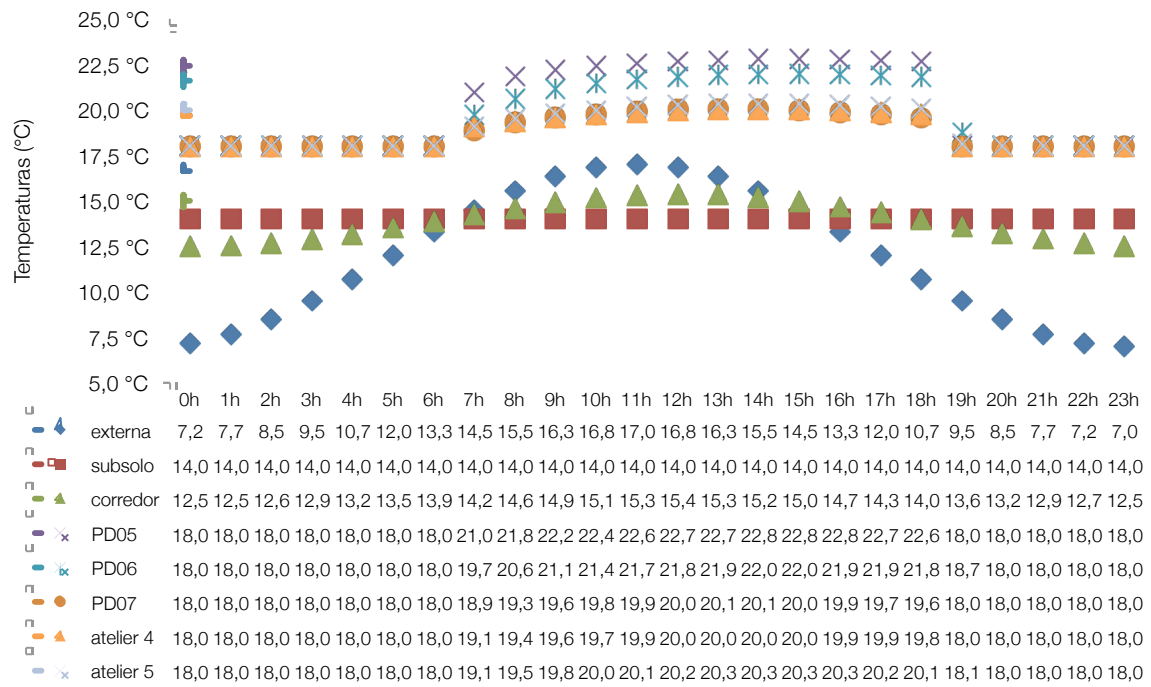
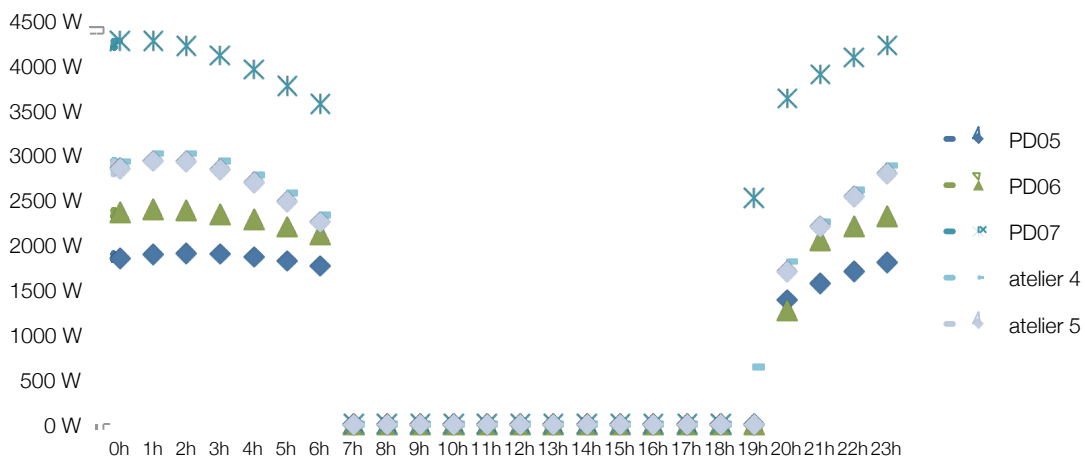


Gráfico 7 - Consumo energético diário com sistema de aquecimento, vidros duplos e ventilação com recuperação de calor (AUTORA, 2014).



4.3.2 Resultados

A análise realizada concluiu que nas condições atuais o edifício não oferece condições de trabalho que atendam aos padrões de conforto térmico delimitados por Fanger (1970). Assim, foram simulados sistemas que possam climatizar consumindo menos energia. Os resultados de consumo são apresentados na tabela 7.

Tabela 7 - Consumos diários e mensais (25 dias úteis) em quilowatts-hora (kWh) para climatização (AUTORA, 2014).

		PD05	PD06	PD07	atelier 4	atelier 5	total
consumo diário	climatização apenas	41,51	46,70	75,40	67,62	68,19	299,43
	climatização + vidro duplo	38,78	42,90	64,74	51,2	49,45	247,12
	climatização + vidro duplo + vent. c/ recup. de calor	19,43	23,89	46,51	29,8	28,20	147,79
consumo mensal	climatização apenas	1037,63	1167,59	1885,10	1690,5	1704,87	7485,66
	climatização + vidro duplo	969,57	1072,54	1618,42	1281,2	1236,33	6178,06
	climatização + vidro duplo + vent. c/ recup. de calor	485,82	597,23	1162,69	744,1	705,07	3694,86

A salas PD05 e PD06 apresentaram a maior amplitude térmica (7,4°C) dos espaços didáticos simulados. Porém, como as temperaturas médias nesses espaços foram também as maiores (16,7°C aproximadamente), o consumo energético para mantê-las acima de 18°C foi menor.

Os ateliers 4 e 5 apresentaram resultados médios semelhantes (15,3°C). No entanto, as temperaturas mínimas são mais baixas no atelier 5 por ter maior área envidraçada a sul e uma superfície de contato a mais com o ar externo (empena oeste). Como ele é menor que o atelier 4, com a adição do vidro duplo essa situação se inverte: gasta-se mais energia para aquecer o atelier maior.

Já a sala PD07 apresentou amplitude térmica de 6,5°C e média próxima às dos ateliers (15,4°C). Assim como o atelier 5, ela tem uma parede a mais de contato com o meio externo, por ser a última sala do bloco no térreo, e aberturas para sul. No

entanto, ela não recebe a radiação da cobertura como os ateliers superiores. Por esse motivo, a PD07 apresenta as menores temperaturas mínimas do conjunto simulado.

Desta forma, para se atingir o conforto ambiental desejado é necessário instalar um sistema de aquecimento, aumentando inevitavelmente o consumo de energia. A pergunta, então, é: como melhorar as condições térmicas ambientais com o menor consumo de energia? A tabela a seguir mostra o número de horas que o sistema de climatização precisaria ser acionado.

Tabela 8 - Número de horas diárias de mensais de funcionamento do sistema de climatização (AUTORA, 2014).

		PD05	PD06	PD07	atelier 4	atelier 5
horas diárias	climatização apenas	12	12	13	12	12
	climatização + vidro duplo	12	12	12	12	12
	climatização + vidro duplo + vent. c/ recup. de calor	11	11	12	12	11
horas mensais	climatização apenas	300	300	325	300	300
	climatização + vidro duplo	300	300	300	300	300
	climatização + vidro duplo + vent. c/ recup. de calor	275	275	300	300	275

As simulações permitem perceber que a instalação do aquecimento é pouco eficiente se comparada às alternativas combinadas. Isso porque a origem do desconforto está não apenas na geração de calor, mas também na perda pelos vidros e pela ventilação. A próxima tabela mostra os valores de consumo divididos pelos números de hora de funcionamento, em quilowatts-hora.

Tabela 9 - Consumos diários x horas de funcionamento em quilowatts-hora (AUTORA, 2014).

		PD05	PD06	PD07	atelier 4	atelier 5
consumo / horas	climatização apenas	3,46	3,89	5,80	5,68	5,68
	climatização + vidro duplo	3,23	3,58	5,39	4,27	4,12
	climatização + vidro duplo + vent. c/ recup. de calor	1,77	2,17	3,88	2,48	2,56

Combinando o sistema de aquecimento com vidros duplos e controle de ventilação com recuperação de calor, reduz-se consideravelmente o consumo energético para o aquecimento do edifício. Cabe, então, verificar estratégias para que essas implementações demandem alterações mínimas nas características originais do edifício, a fim de não comprometer sua integridade arquitetônica.

Tomando os valores de consumo energético obtidos e replicando-os ao restante do bloco (mais um *atelier* semelhante ao 5, mais dois semelhantes ao 4, mais uma sala semelhante à PD07 e mais três semelhantes à PD06), tem-se o total consumido se a climatização fosse instalada no bloco todo (Tabela 10). Para o cálculo do valor anual, utilizou-se o valor mensal nos quatro meses de inverno.

Tabela 10 - Consumos em MJ para climatização do bloco didático (AUTORA, 2014).

		mensal	anual	50 anos
consumo diário	climatização apenas	646 536	2 586 146	129 307 307
	climatização + vidro duplo	533 261	2 133 046	106 652 326
	climatização + vidro duplo + ventilação c/ recup. de calor	318 327	1 273 308	63 665 431

Os valores foram calculados em megajoule para serem comparados ao consumido durante os primeiros 50 anos de uso do bloco, conforme calculado anteriormente. A comparação é apresentada na Tabela 11 a seguir.

Tabela 11 Consumo energético discriminado em 50 anos (MJ), apresentado na Tabela 6, somado aos dados de consumo para climatização em 50 anos (AUTORA, 2014).

Consumo energético na construção da edificação (EE inicial)	4 675 004	35%
Consumo energético na manutenção da edificação (EE manutenção)	686 587	5%
Consumo energético na alteração da edificação (EE substituição)	147 173	1%
Consumo energético na iluminação	7 411 320	56%
Consumo energético no uso de computadores	291 600	2%
Energia total consumida em 50 anos	13 211 684	100%

Consumo energético estimado para climatização do bloco (inverno) por 50 anos		
Climatização apenas	129 307 307	979%
Climatização + vidro duplo	106 652 326	807%
Climatização + vidro duplo + ventilação com recuperação de calor	63 665 431	482%

Os valores apresentados explicam a discrepância da proporção da ACVE obtida anteriormente com os 73 estudos de caso em 13 países diferentes realizados por Ramesh *et al.* (2010). Enquanto no presente estudo de caso a energia operacional representou 58% do total, nos estudos de Ramesh *et al.* (2010) esse valor variou entre 80 e 90%. Se somados os valores de climatização à energia operacional, os valores saltam para mais de 90% do total de energia consumida em 50 anos, conforme mostra a Tabela 12.

Tabela 12 Consumo energético total estimado em 50 anos (MJ) (AUTORA, 2014).

Energia embutida (EE inicial + EE manutenção + EE substituição)	5 508 764	42%
Energia operacional consumida por equipamentos (s/ climat.)	7 702 920	58%
Energia total	13 211 684	100%

Energia embutida (EE inicial + EE manutenção + EE substituição)	5 508 764	4%
Energia operacional c/ climatização	137 010 228	96%
Energia total	142 518 992	100%

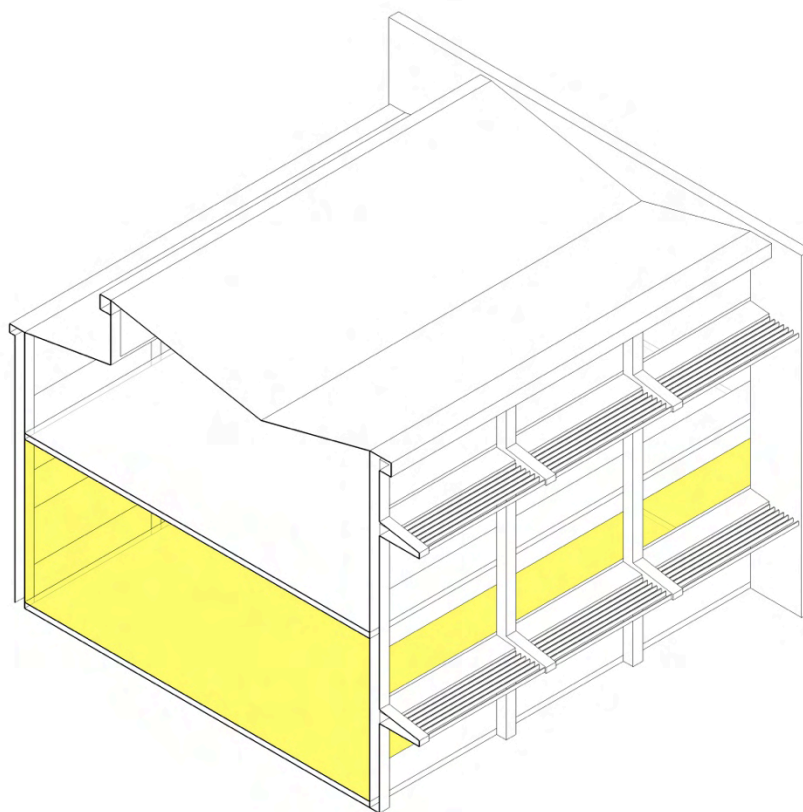
Energia embutida (EE inicial + EE manutenção + EE substituição)	5 508 764	5%
Energia operacional c/ climatização + vidros duplos	114 355 247	95%
Energia total	119 864 011	100%

Energia embutida (EE inicial + EE manutenção + EE substituição)	5 508 764	7%
Energia operac. c/ climat. + vidros duplos + vent. c/ recup. calor	71 368 352	93%
Energia total	76 877 116	100%

4.4 Análise do aproveitamento da luz natural

Para se analisar o desempenho lumínico relacionado à luz natural, foi escolhida a sala térrea PD07 (Figura 31), a mesma cujos dados de desempenho térmico foram comparados anteriormente. Isto porque, dentro do bloco de Arquitetura, ela foi a que sofreu maiores modificações em relação a acabamentos. Sendo a última sala térrea do bloco, tem aberturas norte e sul, e faz divisa de um lado com outra sala de aula e do outro com o meio externo. Utilizou-se do módulo de análise de luz natural do Sistema Mestre (SCHMID, 2004), que combina técnicas de *raytracing* e radiosidade para encontrar os níveis de iluminância em planos determinados. Também gera renderizações do espaço para verificação da pertinência dos resultados.

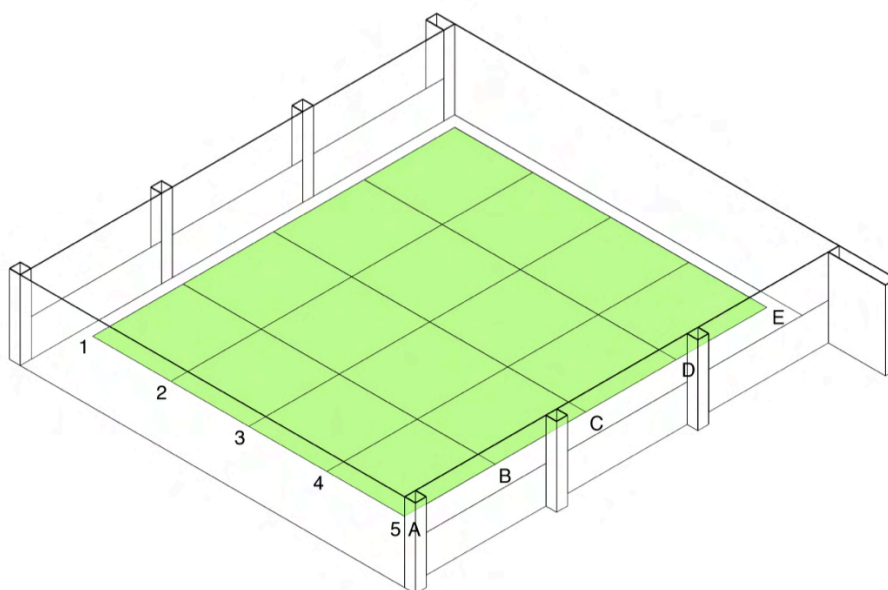
Figura 31 - Isométrica da fachada norte. Em amarelo no diagrama, a sala de aula PD07, objeto de estudo (AUTORA, 2014).



4.4.1 Simulação de aproveitamento de luz natural na sala PD07

A primeira simulação considera o estado atual⁶ da sala: piso em madeira escura (original) e forro em lambris de madeira de coloração meio escura (modificação do projeto original, com forro branco texturizado). Externamente, as prateleiras de luz e os *brises* em alumínio foram considerados escuros, já que encontram-se sujos e pouco refletivos. Para esse modelo, foi simulada a condição de céu limpo, no solstício de inverno (21 de junho), às 8h da manhã. As medições são referentes ao plano de trabalho dos alunos, a 75cm do piso, numa grade de 5x5 eixos, conforme Figura 32.

Figura 32 - Organização do mapa de iluminância (lux). Isométrica mantém orientação dos demais gráficos, deixando a fachada norte para frente (AUTORA, 2014).



⁶Entende-se, nessa dissertação, como estado atual da sala PD07, as condições apresentadas por esse espaço no ano de 2014: piso em madeira escura (original); forro em lambris de madeira de coloração meio escura (modificação do projeto original, com forro branco texturizado); prateleiras externas de luz e os *brises* externos em alumínio escurecidos pela sujeira e pouco refletentes.

Na primeira simulação, os resultados obtidos foram os demonstrados na Gráfico 8 e na tabela 13.

Gráfico 8 - Mapa de iluminância da PD07 no estado atual (AUTORA, 2014).

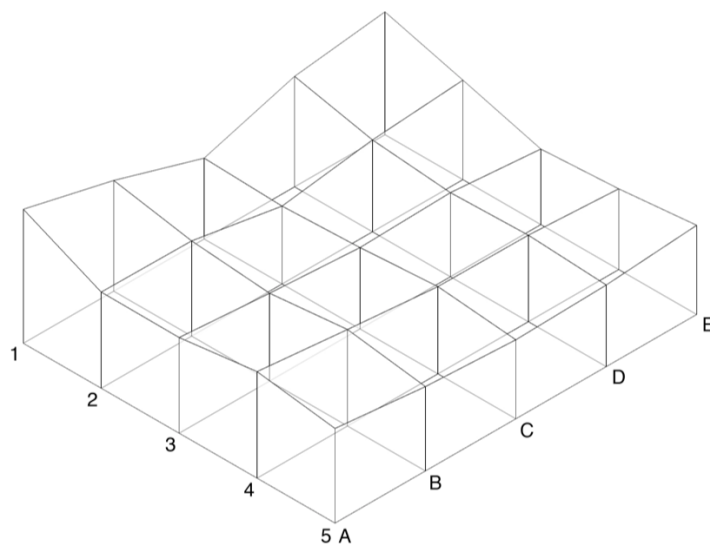


Tabela 13 - Dados de iluminância da PD07 no estado atual em lux (AUTORA, 2014).

	A	B	C	D	E
1	3214	2654	1938	2648	2944
2	2305	2282	1866	2202	2385
3	2293	2105	<u>1949</u>	2016	1811
4	2554	2313	2092	2074	1935
5	2269	2022	1894	1957	2139

O segundo conjunto de simulações considera a pintura da prateleira de luz, com refletância de 80% (cinza claro), e limpeza dos *brises* em alumínio, voltando à refletância original de também 80%. A Gráfico 9 e a Tabela 14 mostram os resultados das simulações do espaço implementado nas condições de ambiente anteriormente especificadas.

Gráfico 9 - Mapa de iluminância da PD07 com bandeja pintada e os brises limpos (AUTORA, 2014).

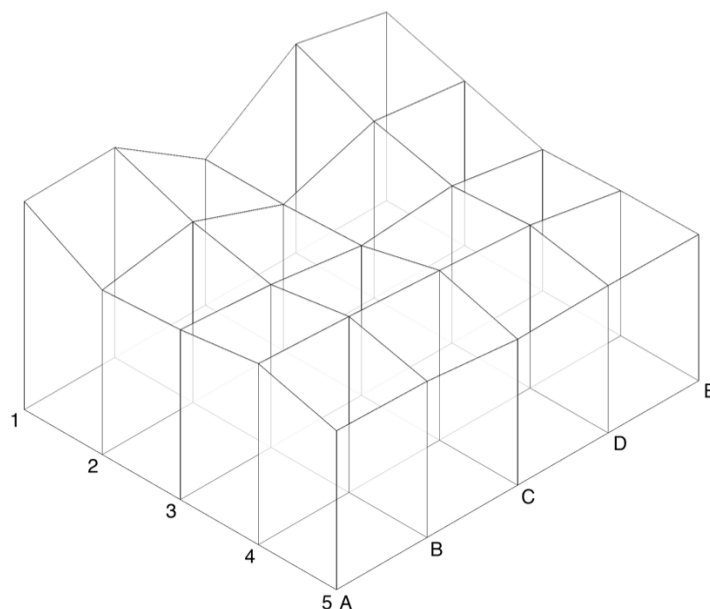


Tabela 14 - Dados de iluminância (lux) da PD07 com a bandeja pintada e os brises limpos (AUTORA, 2014).

	A	B	C	D	E
1	3812	3674	2158	3658	3317
2	2631	2888	2160	2792	2690
3	2750	2491	<u>2287</u>	2387	2187
4	3066	2809	2809	2534	2328
5	2727	2566	2372	2372	2512

A última simulação considera o ambiente conforme o projetado: trocando o forro em madeira escura por placas brancas, com refletância 90% (Gráfico 10 e Tabela 15).

Gráfico 10 - Mapa de iluminância da PD07 com a bandeja pintada, os brises limpos e o forro original (AUTORA, 2014).

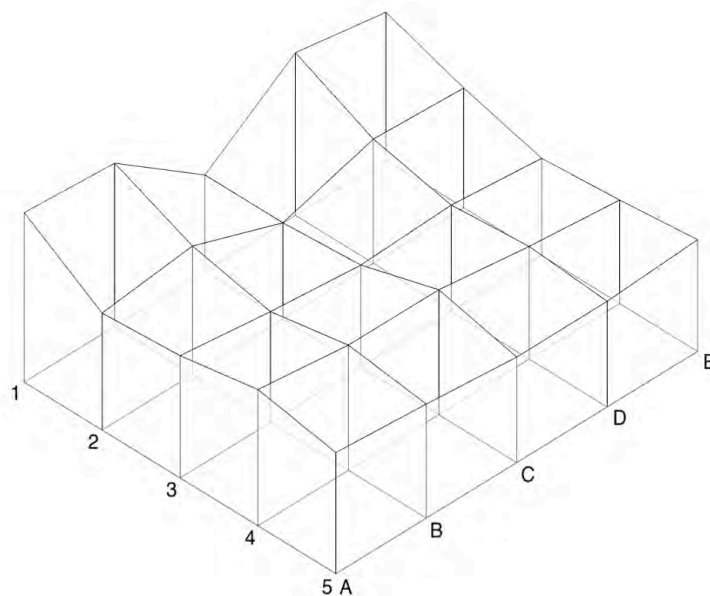


Tabela 15 - Dados de iluminância (lux) da PD07 com a bandeja pintada, os brises limpos e o forro original (AUTORA, 2014).

	A	B	C	D	E
1	4982	5020	3489	5004	4514
2	3938	4323	3485	4233	3943
3	4067	3897	3579	3757	3377
4	4333	4211	4062	3896	3468
5	3802	3738	3494	3529	3501

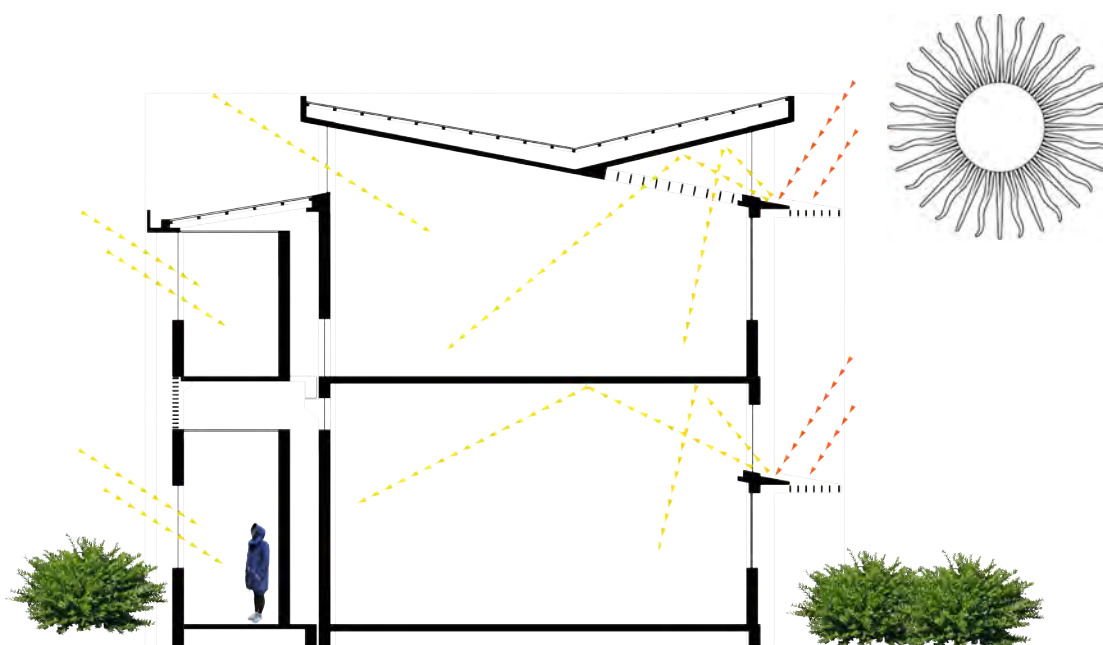
4.4.2 Resultados

Comparando o estado atual da com uma situação com a prateleira de luz pintada e os brises limpos, tem-se um aumento de mais de 17% no nível de iluminância no ponto central da sala (dados sublinhados nas tabelas). No estado atual, a média de iluminância fica em 2234 lux, enquanto que com a modificação atinge-se 2719 lux. Ou seja, um aumento superior a 21%.

O aumento torna-se ainda mais relevante com a troca do forro por outro de cor clara, mais próximo ao original. Comparando as medições de iluminância do ponto central da sala, tem-se um aumento de 56% em relação à primeira sugestão de implementação; e de 83% em relação ao estado atual. Como média, atingiu-se 3985 lux: 46% maior que a implementação sem a troca de forro; e 83% maior que o estado atual.

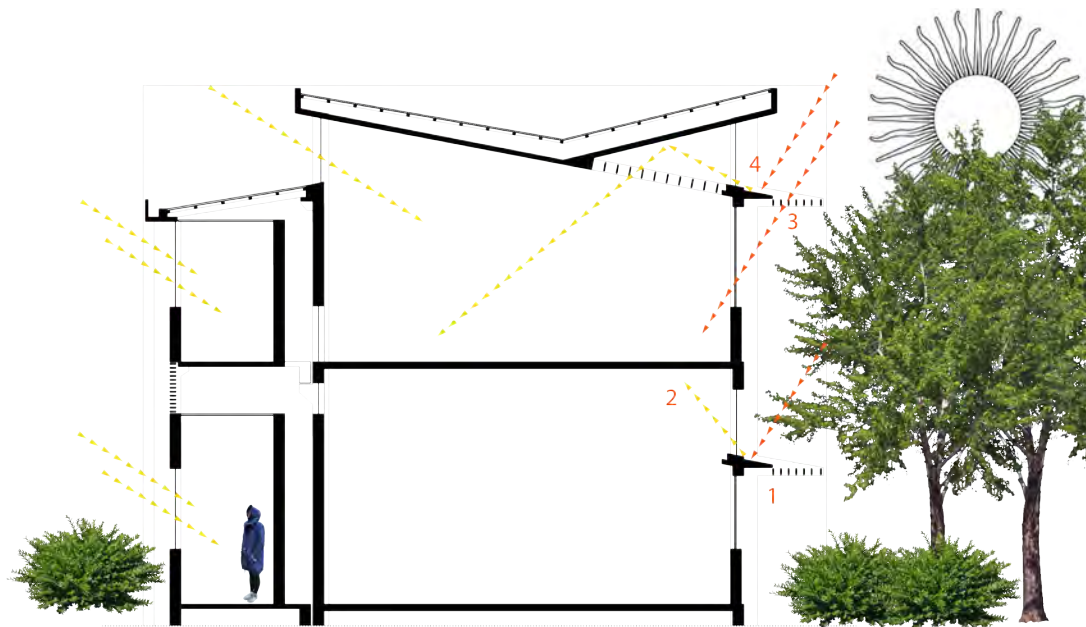
Os resultados das simulações indicam que a manutenção dos sistemas de iluminação natural (conforme mostrado na Figura 33) seria suficiente para garantir um bom desempenho lumínico do ambiente estudado, sem o risco de comprometer a sua integridade arquitetônica. Ao menos para o nível de iluminância adequado à atividade de estudos. Para ambientes em que o uso não é mais equivalente ao previsto em projeto, são necessárias análises específicas.

Figura 33 – Corte esquemático mostrando o sistema de iluminação natural original (AUTORA, 2014).



No entanto, o que se observa é que o nível de iluminância alcançado não é adequado, sendo necessário complementá-lo com iluminação artificial. Assim, há mais um fator a ser avaliado além do forro em madeira (indicação 2 na Figura 34); da pouca refletividade dos brises externos (indicação 3 na Figura 34); e do escurecimento e da prateleira de luz (indicação 4 na Figura 34). Trata-se do crescimento da vegetação dos pátios externos (indicação 1 na Figura 34). Após 50 anos essa vegetação já atingiu o porte adulto, sombreando as salas inferiores.

Figura 34 - Corte esquemático mostrando como a iluminação natural da sala funciona após 50 anos da sua construção (AUTORA, 2014).



5

5 CONCLUSÕES

Esta dissertação, trata do problema geral de como readequar um edifício moderno, explorando a prática contemporânea sob três enfoques distintos:

- a) conceitual (Capítulo 2);
- b) de Análise do Ciclo de Vida Energético (Capítulo 3);
- c) de análise do desempenho termoenergético e lumínico (Capítulo 4).

Em relação às conclusões obtidas no capítulo de conceituação, pode-se concluir que edifício de Exatas no Centro Politécnico da UFPR pertence à produção de Arquitetura Moderna, enquadrando-se nos quatro pontos delimitados por Bruna (2010):

- a) abordagem racional do projeto;
- b) busca da modificação social;
- c) industrialização da construção;
- d) grandes obras públicas.

Ele faz parte de um conjunto de obras públicas com o propósito de promover um momento de desenvolvimento nas dinâmicas urbanas de Curitiba nas décadas de 1950 e 1960. Assim, mais do que um exemplar da produção arquitetônica, trata-se da materialização de um momento social, político, econômico, ideológico e tecnológico de uma organização urbana específica, de significância digna de interesse de preservação.

No entanto, após mais de meio século de uso, o edifício do Centro Politécnico apresenta condições de obsolescência tanto funcional quanto material em seus espaços. São observadas alterações que procuram, de alguma forma, adequar a edificação às novas demandas e expectativas. No entanto, elas comprometem um ou mais dos três pontos a serem preservados em obras modernas para preservação (PRUDON, 2008):

- a) as intenções de projeto;
- b) a continuidade visual;
- c) e a autenticidade material.

Complementando o Quadro 2 (apresentado no Capítulo 1 - Método), o Quadro 5 apresenta os principais resultados obtidos na etapa de conceituação.

Quadro 5 - Estrutura de organização da Conceituação e principais resultados (Capítulo 2)

PROBLEMA	OBJETIVO	MÉTODO	UNIDADE DE ANÁLISE	RESULTADOS
<i>O que são?</i>				
Quais as características do legado moderno?	Descrever características gerais dessa produção.	Revisão bibliográfica.	Características físicas e contextuais gerais da produção.	Abordagem racional do projeto; busca da modificação social; industrialização da construção; grandes obras públicas (BRUNA, 2010).
Quais as dificuldades em preservá-lo?	Explicar motivos que levam à sua descaracterização.	Revisão bibliográfica.	Modificações físicas e críticas aos edifícios.	Obsolescência funcional e material; não reconhecimento enquanto patrimônio.
O estudo de caso se enquadra nas características do legado moderno?	Verificar compatibilidade com as características levantadas.	Observação direta e levantamento de dados sobre o projeto.	Características físicas e contextuais do estudo de caso.	O estudo de caso se enquadra nas características levantadas.
O estudo de caso apresenta as dificuldades de preservação?	Verificar existência de problemas de desempenho.	Observação direta.	Modificações físicas no estudo de caso.	Descaracterizações estão relacionadas principalmente à manutenção deficiente.
<i>Como estão?</i>				
Quais as modificações que vão contra a preservação?	Verificar se as modificações negam as características originais do projeto.	Observação direta.	Modificações físicas.	Bloqueio de visuais, negação das intenções de projeto, alterações no entorno imediato.
Quais as consequências dessas modificações?	Descrever problemas ligados à essas modificações.	Observação direta.	Alterações físicas contrárias às características.	Descaracterização, ineficiência térmica e lumínica, demanda por mais alterações.
<i>Como proceder?</i>				
Quais as recomendações gerais?	Descrever critérios gerais.	Revisão bibliográfica.	Crítérios qualitativos de preservação.	Manutenção da continuidade visual e da intenção de projeto; relativização do autêntico.
Quais as recomendações para o estudo de caso?	Aplicar os critérios gerais ao estudo de caso.	Revisão bibliográfica e análise dos resultados anteriores.	Crítérios qualitativos de preservação aplicados ao estudo de caso.	Não ocupação dos pátios; manutenção e implementação dos sistemas de iluminação natural e ventilação.

Na conceituação, observa-se que o projeto expressa racionalidade e eficiência por meio da organização espacial e também grau de industrialização; inédito na época da sua construção. Esta industrialização, no Brasil, estava muito mais associada ao concreto do que a outros materiais, o que justificou a sua adoção nas estruturas pré-moldadas. Responsável por 55% de toda a energia utilizada na construção do edifício, essa estrutura demanda pouca manutenção, apresentando também elevado grau de durabilidade, resultado obtido no capítulo 3, relativo à ACVE.

Também em relação à durabilidade, os elementos de proteção solar e as esquadrias apresentam maior grau de degradação, o que compromete o, já problemático, desempenho térmico e o aproveitamento de luz natural, originalmente bastante eficiente. Cabe notar que justamente esses elementos (esquadrias e elementos de proteção solar), que apresentam maior grau de degradação, constam na ACVE como os maiores consumidores na etapa de manutenção. Isso indica que a manutenção não é realizada rotineiramente. Os acabamentos, igualmente representativos em consumo energético na manutenção, foram substituídos pontualmente por degradação material. Ou seja, poderiam não ter sido trocados se a manutenção fosse mais sistemática, reduzindo gastos na etapa de substituição.

Somam-se ainda as mudanças nos usos e as consequentes adaptações espaciais, que não seguem diretrizes de implementação do conjunto. Todos esses problemas de obsolescência e degradação dificultam a apropriação do edifício enquanto patrimônio a ser preservado e propiciam outras descaracterizações.

Contrárias à integridade arquitetônica do edifício, tais modificações tampouco colaboram com a redução do consumo por equipamentos (que já representa 58% de toda a energia demandada pelo edifício desde sua construção) ou para manutenção, como visto na análise de iluminação natural da sala PD07, ou na ocupação dos pátios.

Passados 50 anos, a energia embutida para manutenção tende a aumentar, assim como a quantidade de equipamentos utilizadas no funcionamento do edifício. E nada se pode fazer a respeito da energia embutida da construção, etapa já concluída. Assim, as modificações, que representaram apenas 3% da energia embutida até então, mostram-se como uma oportunidade de se controlar o consumo energético na continuação do ciclo de vida do edifício.

Complementando o Quadro 3 (apresentado no Capítulo 1 - Método), o Quadro 6 apresenta os principais resultados obtidos na etapa de ACVE.

Quadro 6 - Estrutura de organização da Análise do Ciclo de Vida Energético e principais resultados (Capítulo 3).

Problema	Objetivo	Método	Unidade de análise	Resultados
<i>O que são?</i>				
Quanto de energia gastou-se na construção do edifício?	Descrever quanto de energia foi gasta para a construção do edifício.	Análise de ciclo de vida energética (ACVE) - fase pré-operacional.	Energia embutida (EE) em um bloco didático do centro politécnico (CP).	EE construção = 4 675 004 MJ, dos quais 55% é referente à estrutura (em concreto).
<i>Como estão?</i>				
Quanto de energia gastou-se na manutenção do edifício durante 50 anos de vida útil?	Descrever a energia embutida na manutenção do edifício.	Análise de ciclo de vida energética (ACVE) - fase operacional.	EE em um bloco didático do CP, referente à manutenção das características originais do edifício.	EE manutenção = 686 587 MJ, presente na cobertura, nos acabamentos e nas esquadrias.
Quanto de energia gastou-se em alterações no edifício durante 50 anos de vida útil?	Descrever a energia embutida por alterações do edifício.	Análise de ciclo de vida energética (ACVE) - fase operacional.	EE em um bloco didático do CP, referente às alterações, adaptações e substituições dos elementos originais por outros distintos.	EE substituição = 147 173 MJ, sendo a maior parte dela referente a substituição pontual de acabamentos.
Quanto de energia gastou-se na operação de equipamentos do edifício durante 50 anos de vida útil?	Descrever quanto de energia foi gasta na operação de equipamentos do edifício.	Análise de ciclo de vida energética (ACVE) - fase operacional.	Energia consumida em um bloco didático do CP, com o uso de equipamentos e sistemas de iluminação.	EO de equipamentos elétricos = 7 702 920 MJ, sendo 96% referente à iluminação.
<i>Como proceder?</i>				
Quais etapas consomem mais energia?	Descrever e comparar os dados obtidos nas etapas anteriores.	Análise das etapas anteriores.	EE x EO por equipamentos elétricos.	EO por equipamentos elétricos representa 58% de todo o consumo do edifício em 50 anos. A construção representa 85% de toda EE do edifício.
Quais etapas oferecem oportunidades de se reduzir o consumo energético do edifício?	Descrever e comparar os dados obtidos nas etapas anteriores.	Análise das etapas anteriores.	EE x EO por equipamentos elétricos.	A manutenção representa 12% de toda EE do edifício, e a substituição apenas 3%.

No que se diz respeito ao desempenho energético, uma troca de esquadria, por exemplo, pode alterar os fluxos de ar, criando zonas com melhor ou pior ventilação; pode alterar os índices de transmitância térmica, melhorando ou piorando o desempenho térmico de um ambiente; ou pode ainda aumentar ou diminuir a incidência de luz natural em um espaço. Essas consequências repercutem sobre o uso de equipamentos na edificação: ventiladores, aquecedores, condicionadores de ar, ou luminárias. Desta forma, alterações no projeto original, pouco relevantes em relação ao montante total de energia embutida consumida, podem vir a alterar o consumo energético por equipamentos, que representa, no estudo de caso, mais da metade do montante total de energia consumida em 50 anos. Assim, é necessário que as modificações sejam cautelosas e procurem melhorar o desempenho da edificação, levando em consideração aspectos de natureza tanto quantitativa, quanto qualitativa.

O estudo de caso descreve um edifício projetado de acordo com as condições locais de Curitiba, mas limitado em termos materiais e tecnologia. Nesse sentido, em se tratando de uma edificação com interesse de preservação, é recomendável fazer o uso de simulações para verificar as intenções e o funcionamento original do conjunto. Com o objetivo de avaliar se o restauro das condições originais é adequado, se as modificações realizadas são benéficas, e quais implementações são de fato necessárias.

Com o objetivo de questionar quais alterações levariam à essa melhoria de desempenho energético, térmico e lumínico; as simulações de desempenho termoenergético e lumínico foram apresentadas no capítulo 4. Em relação à iluminação natural, a solução mais eficiente seria a manutenção das características originais. Ou seja, as modificações feitas na sala de aula foram contrárias às melhorias de iluminação e à preservação do conjunto. Sobre o desempenho térmico, comprovou-se que há a necessidade de instalação de sistema de climatização. Além disso, a combinação entre sistemas, de aquecimento, vedação com vidro duplo e ventilação com recuperação de calor, possibilita uma redução de 38% do consumo em relação ao sistema de aquecimento simples. Em uma etapa complementar, cabe explorar maneiras desses mecanismos se adequarem à estrutura a ser preservada, sem descaracterizar as intenções de projeto.

Complementando o Quadro 4 (apresentado no Capítulo 1 - Método), o Quadro 7 apresenta os principais resultados obtidos na etapa de análise de desempenho termoenergético e lumínico.

Quadro 7 - Estrutura de organização da avaliação de desempenho termoenergético e lumínico e principais resultados (Capítulo 4).

Problema	Objetivo	Método	Unidade de análise	Resultados
<i>O que são?</i>				
Qual o contexto?	Descrever as características do meio de inserção do edifício.	Revisão bibliográfica (carta bioclimática de givoni, equação de conforto de Fanger).	Dados climatológicos e de radiação solar.	As baixas temperaturas demandam sistema de climatização. Grande potencial de aproveitamento de luz natural.
Como é o desempenho térmico do edifício?	Explicar como a edificação se comporta em relação ao conforto térmico de seus usuários.	Simulação computacional no sistema mestre (SCHMID e GRAF, 2011).	Horas fora da zona de conforto ambiental durante o inverno nas salas de aula.	Termicamente, as salas de aula são desconfortáveis maior parte das suas horas úteis, principalmente devido à perda de calor pelas esquadrias.
Como é o aproveitamento da luz natural?	Explicar como a luz natural é aproveitada na edificação.	Simulação computacional no sistema mestre (SCHMID, 2004).	Iluminância relativa à luz natural de uma sala de aula.	Os esquemas de aproveitamento de luz natural previstos em projeto são eficientes.
<i>Como estão?</i>				
Como está o desempenho térmico após 50 anos de uso?	Descrever as modificações relacionadas ao desempenho térmico.	Observação direta.	Modificações físicas relativas insolação e ventilação.	Alterações e realocações dos usos; a falta de manutenção das esquadrias; instalação de equipamentos individuais nas fachadas.
Como está o aproveitamento de luz natural após 50 anos de uso?	Descrever o desempenho lumínico de aproveitamento de luz natural.	Observação direta.	Modificações físicas relativas insolação.	Alterações e realocações dos usos; a falta de manutenção nos elementos de proteção solar; substituição de acabamentos internos.
<i>Como proceder?</i>				
Como melhorar o desempenho térmico?	Explorar implementações que venham aumentar as horas de conforto térmico.	Simulação computacional no sistema mestre (SCHMID e GRAF, 2011).	Horas fora da zona de conforto térmico durante o inverno nas salas de aula.	Sistema de aquecimento torna-se mais eficiente quando combinado com outros elementos (vidro duplo e recuperação de calor na ventilação).
Como melhorar o aproveitamento da luz natural?	Explorar implementações que aumentem os níveis de iluminância da luz natural no ambiente interno.	Simulação computacional no sistema mestre (SCHMID, 2004).	Iluminância relativa à luz natural de uma sala de aula.	A eficiência do aproveitamento de luz natural depende somente da manutenção das características originais do projeto.

As partes que compuseram essa dissertação tratam do mesmo estudo de caso, e respondem às mesmas três perguntas de origem:

- d) o que são essas edificações?
- e) como estão essas edificações ao atingir mais de 50 anos de uso?
- f) como se deve proceder para um desempenho energético mais eficiente?

Como resposta à primeira questão ("o que são?"), descreve-se as intenções de projeto, o desempenho original da edificação e seus problemas. Identificadas as motivações, descreve-se as modificações implementadas e as suas consequências, respondendo à segunda questão ("como estão?"). Por fim, elenca-se critérios qualitativos e quantitativos relacionados ao desenvolvimento do projeto de readequação do patrimônio moderno, respondendo à terceira pergunta ("como proceder?"). Assim, organizou-se os resultados como respostas e estas questões-problema, como mostra o Quadro 8.

Por meio de uma leitura do quadro, pode-se também comprovar os três pressupostos apresentados no início do trabalho:

- a) edifícios Modernos em estágio avançado de vida apresentam deficiências de desempenho;
- b) modificações implementadas nos edifícios Modernos são respostas a estes problemas de desempenho;
- c) tais implementações não precisam ser contrárias às intenções de preservação.

Quadro 8 - Síntese das três partes (AUTORA, 2014).

PROBLEMA	OBJETIVO	RESULTADOS		
		Parte 1	Parte 2	Parte 3
<i>O que são?</i>	<i>Descrever desempenho original e identificar problemas.</i>	Edifícios com intenções de inovação tecnológica e de eficiência espacial, funcional e de conforto ambiental.	No estudo de caso, o valor de energia embutida pré-operacional é elevado, mas o de manutenção é reduzido.	No estudo de caso, há problemas de desempenho térmico (resultado da falta de tecnologia na época, e do aproveitamento de luz natural). No estudo de caso, as soluções relacionadas à luz natural são bastante eficientes.
<i>Como estão?</i>	<i>Descrever as modificações e suas consequências.</i>	Algumas modificações vão contra as intenções originais de projeto, e comprometem a preservação dos valores arquitetônicos do conjunto.	Após 50 anos, o consumo na operação de equipamentos é o mais elevado, superando todos os de energia embutida. As modificações representam porção mínima de energia embutida; algumas delas não colaboram com a redução de impactos ambientais nem estendem o ciclo de vida do edifício.	No estudo de caso, a falta de manutenção e algumas modificações (principalmente ligadas à mudanças de uso) vão contra o desempenho de conforto lumínico e térmico.
<i>Como proceder?</i>	<i>Delimitar critérios intervenção.</i>	Preservar a continuidade visual e as intenções de projeto, relativizando, quando necessário, a busca por autenticidade material.	Implementações são oportunidades de estender o ciclo de vida útil do edifício. Implementações devem minimizar os impactos ambientais a longo prazo.	Implementações devem melhorar padrões de conforto ambiental do edifício; atualizar os sistemas obsoletos; e valorizar os esquemas originais em funcionamento.

Sobre a pergunta "o que são?", destaca-se positivamente no edifício Moderno estudado, além dos valores arquitetônicos, a racionalidade construtiva e aproveitamento da luz solar; eficientes até para os padrões contemporâneos. Ele apresenta intenções de projeto voltadas à inovação tecnológica e eficiência espacial, funcional e de conforto ambiental, o que demandou um consumo elevado de energia durante a sua construção, mas reduzido para sua manutenção. Apesar das soluções relacionadas à luz natural serem originalmente bastante eficientes, destaca-se a presença de problemas de desempenho térmico desde a concepção original, e lumínico decorrentes de alterações ao longo de 50 anos. Assim, comprova-se o pressuposto "a": edifícios modernos em estágio avançado de vida apresentam deficiências de desempenho.

Tais problemas são decorrentes da busca por inovação, da não disponibilidade de tecnologias adequadas, da mudança nas expectativas dos usuários e também da falta da manutenção como rotina sistemática. Esse cenário levou à alterações no edifício, o que diz respeito à pergunta "como estão?". Algumas dessas ações vão contra as intenções originais de projeto; comprometem a preservação dos valores arquitetônicos do conjunto; não colaboram com a redução de impactos ambientais; não estendem o ciclo de vida do edifício; e, principalmente ligadas à mudanças de uso, vão contra o desempenho de conforto lumínico e térmico dos espaços.

Este contrassenso, de que as modificações em busca de maior eficiência resultam em piora no desempenho, acusa a falta de critérios, tanto quantitativos quanto qualitativos, no projeto de readequação; ou até mesmo a sua inexistência. Assim, as modificações são respostas tanto a problemas inerentes da edificação, sejam eles energético, de conforto ambiental, ou de obsolescência (pressuposto "b"), quanto a problemas na sua operação. Assim, a falta de manutenção e a falta de entendimento dos gestores, e do público envolvido como um todo, em relação ao edifício; e, mais do que isso, a falta de entendimento de Arquitetura; são identificados como os principais empecilhos, tanto à preservação quanto à implementação. Isso também evidencia o não reconhecimento do legado recente como patrimônio a ser preservado.

Ao contrário do observado, as implementações são oportunidades de extensão do ciclo de vida da edificação. Respondendo à pergunta "como proceder?", deve-se respeitar as intenções de projeto, e relativizar a necessidade de preservação da autenticidade material, quando for necessária a atualização de sistemas obsoletos e

ineficientes (pressuposto "c"). Isso porque a readequação de um edifício Moderno representa a possibilidade de se resgatar aspectos fundamentais à Arquitetura Moderna: a funcionalidade e a eficiência. Intervenções desse tipo devem buscar mais do que a preservação da autenticidade material ou a solução de problemas pontuais: tratar o edifício a ser compreendido e implementado como um todo.

Além disso, as modificações representam porção mínima de energia embutida no estudo de caso. Após 50 anos, o consumo na operação de equipamentos é o mais elevado, superando todos os de energia embutida. Assim, as implementações são oportunidades de estender o ciclo de vida útil do edifício e de minimizar os impactos ambientais a longo prazo. Devem melhorar padrões de conforto ambiental do edifício; atualizar os sistemas obsoletos; e valorizar os esquemas originais em funcionamento.

Além desses resultados, três outras conclusões merecem destaque como contribuição geral ao problema da readequação do ambiente construído.

A primeira delas é que a readequação é fundamental para um desenvolvimento mais sustentável. Isto é: tecnologias de efficientização não devem ser apenas aplicadas às novas edificações, mas também ao grande estoque de edifícios já edificadas. Por meio da readequação é possível reduzir impactos decorrentes de demolições e reaproveitar estruturas existentes. E, mais do que isso, qualificar essa permanência, ou seja, reduzir gastos energéticos também operacionais, efficientizando os sistemas existentes.

A segunda conclusão é que a readequação é fundamental, também, para a preservação de edifícios Modernos. Se para edifícios de períodos anteriores outras formas de preservação são mais adequadas, para os Modernos a readequação é a mais indicada. Isso porque por meio dela garante-se a preservação de uma das intenções mais fundamentais ao edifício: a funcionalidade. Garantindo sua utilidade, promove-se a sua apropriação por parte dos usuários, podendo atender melhor; ou até plenamente, as suas expectativas em relação ao espaço.

A terceira é que ações de readequação sobre meios edificados com características específicas de desempenho e de preservação podem seguir métodos gerais, mas devem respeitar critérios específicos. A produção de Arquitetura Moderna no Brasil apresenta características e contextos originais e atuais bastante diversos das produções em outras partes do mundo. Também as formas de avaliação do desempenho desses espaços e as expectativas de seus usuários são divergentes.

Assim, há a necessidade de se explorar métodos e critérios de abordagem que visem aliar preservação e efficientização dessa produção.

Apesar de explorar abordagens distintas do processo de projeto de readequação, admite-se como limitação deste trabalho a sua profundidade em cada uma das partes: explora-se apenas o consumo energético pré-operacional e operacional de um dos blocos didáticos; o desempenho térmico de um trecho desse mesmo bloco em uma única época do ano; e o aproveitamento da luz natural em uma sala de aula. Mesmo os levantamentos de fundamentação teórica são embasados em observação direta, não envolvendo métodos mais quantitativos como *surveys* e entrevistas com os usuários e com os responsáveis pela sua construção e administração; ou uma revisão bibliográfica mais extensa. Destaca-se como empecilho nessa etapa de coleta de dados, dificuldades na obtenção de dados precisos e atualizados referentes ao edifício, principalmente no que diz respeito às modificações espaciais e aos consumos energéticos.

Outra limitação é sobre as obras que tiveram início entre os anos de 2013 e 2014, posteriormente à coleta dos dados *in loco*. Reformas nos sanitários, substituições das esquadrias originais por esquadrias de alumínio e instalação de elevadores são algumas das medidas no escopo dessas alterações, que visam atender a necessidades imediatas dos usuários mas não são resultado de reflexões mais aprofundadas sobre ACVE, desempenho e preservação.

Dessa forma, para trabalhos posteriores, sugere-se em aprofundamento específico de cada uma das áreas exploradas na pesquisa. Ou seja, abranger:

- a) *surveys* com usuários e profissionais envolvidos;
- b) o consumo energético de descarte e de reciclagem;
- c) os impactos ambientais decorrentes do consumo energético;
- d) o desempenho térmico de outros espaços e em outras épocas do ano;
- e) o desempenho lumínico de outros espaços, e também relativo à iluminação artificial;
- f) o consumo energético operacional decorrente de intervenções de readequação, correlacionando os capítulos 3 e 4 do trabalho;
- g) o detalhamento da aplicação de tecnologias de efficientização nos espaços consolidados;
- h) posturas conceituais diversas em relação à critérios de preservação;
- i) atualização dos dados;

- j) casos correlatos para comparar resultados e métodos de abordagem.

Este trabalho não encerra as discussões sobre a readequação do patrimônio recente, mas contribui para a construção de um método de projeto de readequação de edifícios modernos.

6

6 REFERÊNCIAS

ABEYSUNDARA, U.G.Y.; BABEL, S.; GHEEWALA, S. A Matrix in Life Cycle Perspective for Selecting Sustainable Materials for Buildings in Sri Lanka. **Building and Environment**, v.44, nº 5, p. 997-1004, 2009.

ABNT, Associação Brasileira De Normas Técnicas. **NBR ISO 14040**: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009.

AGUIAR, C. A.. **Aplicação de programa de conservação de água em edifícios residenciais**. Curitiba, 2008. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Construção Civil) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

ARGAN, G. C.. **Walter Gropius e a Bauhaus**. Rio de Janeiro, José Olympio, 2005.

ASADI, E., SILVA, M.G., ANTUNES, C.H., DIAS, L.. Multi-objective optimization for building retrofit strategies: A model and an application. **Energy and Buildings**, 44, 2012.

ASHRAE, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers. **Handbook of Fundamentals**. 2005.

AYRES FILHO, C. G.. **Acesso ao modelo integrado do edifício**. Curitiba, 2009. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Construção Civil) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

BALDESSAR, S.. **Telhado verde e sua contribuição na redução da vazão da água pluvial escoada**. Curitiba, 2012. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Construção Civil) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

BANKS, J.. *Introduction to simulation. Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference*: Phoenix, 1999.

BRIBIÁN, I. Z.; USÓN, A. A.; SCARPELLINI, S.. *Life cycle assessment in buildings: State-of-the-art and simplified LCA methodology as a complement for building certification*. **Building and Environment** 44, 2009.

BRAGA, J. A.. **Recuperação estrutural**: injeção com poliuretano em fissuras com infiltração de água com fluxo constante. Curitiba, 2003. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Construção Civil) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 3.523, de 28 de agosto de 1998**. Brasília, 1998. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/1998/prt3523_28_08_1998.html>.

_____. Eletrobrás: PROCEL EPP, Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - Eficiência Energética nos Prédios Públicos. **Código legislativo da eficiência energética nos prédios públicos federais**. Rio de Janeiro: PROCEL-EPP, 2008. Disponível em: <<http://www.elektrobras.com/elb/procel/main.asp?>

TeamID=%7B60F8B9E9-77F5-4C5B-9E94-B1CC0CE F1EAB%7D. Acesso em 02.05.2012>.

_____. _____. **Manual de Instruções para Projetos de Eficiência Energética nos Prédios Públicos-Utilização dos Recursos da Reserva Global de Reversão – RGR.** Rio de Janeiro: PROCEL-EPP, 2011a. Disponível em: <<http://www.eletrobras.com/elb/procel/main.asp?TeamID=%7B60F8B9E9-77F5-4C5B-9E94-B1CC0CE F1EAB%7D>> . Acesso em: 02.05.2012.

_____. Ministério de Minas e Energia: Empresa de Pesquisa Energética (EPE). **Balanco energético nacional: ano base 2010.** Rio de Janeiro: EPE, 2011b. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2010.pdf>. Acesso em 02.02.2012.

BRUAND, Y.. **Arquitetura Contemporânea no Brasil.** São Paulo: Perspectiva, 2005.

BRUNA, P.. **Os primeiros arquitetos modernos: habitação social no Brasil 1930-1950.** São Paulo: Edusp, 2010.

BRUNDTLAND, G. H. (org.). ***Our Common Future: Report of the World Commission on Environment and Development.*** Oslo, 1987.

BULLEN, P.A.; LOVE, P.E.D.. *The rhetoric of adaptive reuse or reality of demolition: Views from the field.* **Cities**, nº 27, 2011. Disponível em: <www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264275109001450>. Acesso em: 04.04.2012.

CAROON, J.. ***Sustainable Preservation: Greening Existing Buildings.*** New Jersey, John Wiley & Sons, 2010.

CASTRO, S.C.L.. **O uso da madeira em construções habitacionais: a experiência do passado e a perspectiva de sustentabilidade no exemplo da arquitetura chilena.** Curitiba, 2008. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Construção Civil) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

CAVALCANTE, R.C.D.. **Simulação energética para análise da arquitetura de edifícios de escritório além da comprovação de conformidade com códigos de desempenho.** São Paulo, 2010. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo), Universidade de São Paulo.

CHAVES, F.C.. **Viabilidade Técnico-Econômica da Utilização da Água de Chuva em Edifícios Residenciais: Estudo de Caso.** Curitiba, 2003. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Construção Civil) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

CHOAY, F.. **A alegoria do patrimônio.** São Paulo: UNESP, 2006.

COE, Council of Europe. **Recommendation No R.** 1991. Disponível em: <[http://www.dhv-speyer.de/stelkens/Materialien/Recommendation_No_R\(91\)1.pdf](http://www.dhv-speyer.de/stelkens/Materialien/Recommendation_No_R(91)1.pdf)> . Acesso em: 25.05.2013 .

COSTA, L.. *Leitura (in)fluente: reflexão sobre a literatura especializada, a arquitetura de Curitiba nos anos 50 e algumas obras do período*. Curitiba, 2002. Dissertação (Mestrado em Teoria, Crítica e História da Arquitetura) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Pontifícia Universidade Católica do Paraná.

CURY, I.. **Cartas Patrimoniais**. Rio de Janeiro: IPHAN, 2000.

DIEESE, Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos. **Estudo No. 56** – Estudo Setorial da Construção Civil 2011. São Paulo: Dieese, 2011.

DIXIT, M. K.; FERNANDES-SOLÍS, J. L.; LAVY, S.; CULP, H. C. *Identification of parameters for embodied energy measurement: A literature review*. **Energy and Buildings** v. 42, p.1238-1247, 2010.

DOCOMOMO, *International Working Party for Documentation and Conservation of Buildings, Sites and Neighbourhoods of the Modern Movement*. **Eindhoven Statement**. Eindhoven, 1990.

DRUSZCZ, M.T.. **Avaliação dos aspectos ambientais dos materiais de Construção Civil**: Uma revisão bibliográfica com estudo de caso do bloco cerâmico. Curitiba, 2002. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Construção Civil) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

DUDEQUE, I.T.. **Espiraís de madeira**: uma história da arquitetura de Curitiba. São Paulo: Studio Nobel: FAPESP, 2001.

EDWARDS, B.. **O Guia básico para a sustentabilidade**. Barcelona: Gustavo Gili, 2008.

EGAN, A.M., *Three case studies using building simulation to predict energy performance of Australian office buildings*. **Buildings Simulation**, 2009.

EN15251. *Indoor Environmental Input Parameters for Design and Assessment of Energy Performance of Buildings - Addressing Indoor air Quality, Thermal Environment, Lighting and Acoustics*. 2007.

FANGER, P. O.. **Thermal comfort: analysis and application in environmental engineering**. New York: McGraw-Hill, 1970.

FAY, M. R. **Comparative life cycle energy studies of typical Australian suburban dwellings**. Tese (Doctor of Philosophy). *The University of Melbourne*, Melbourne, 1999.

_____; TRELOAR, G.; IYER-RANIGA, U. *Life-cycle energy analysis of buildings: a case study*. **Building Research and Information**, v.28 nº1 p. 31-41 JAN-FEB. Routledge, London 2000.

FRAMPTON, Kenneth. **Historia crítica de la arquitectura moderna**. Barcelona: Gustavo Gili, 1991.

GARMATTER NETTO, C.. **Proteção contra incêndio em edificações de interesse de preservação**: Identificação e caracterização dos fatores de influência

na segurança a partir da análise retrospectiva de incêndios ocorridos no Centro Histórico de Curitiba. Curitiba, 2002. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Construção Civil) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. **Energy and Buildings**, 18, pp. 11-23, 1992.

GOULART, S.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S.. **Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras** – 2. Ed. Florianópolis: Núcleo de Pesquisa em Construção/UFSC, 1998.

GRAF, H.F.. **Transmitância térmica & energia incorporada na arquitetura: sua relação nas superfícies do invólucro de uma edificação residencial unifamiliar conforme a norma NBR 12721**. Curitiba, 2011. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Construção Civil) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

GRAF, F.; MARINO, G.. *Modern and Green: Heritage, Energy, Economy. Docomomo journal*, nº 44, p. 33-39. Barcelona: Fundació Mies Van der Rohe, 2011.

GUIMARÃES JUNIOR, P. V.. **Antecipações gerenciais para a integração da gestão de resíduos da construção civil ao planejamento e controle de produção**. Curitiba, 2007. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Construção Civil) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

HAMMOND, G.P.; JONES, C.I.. *Inventory of Carbon and Energy (ICE)*. University of Bath, 2008. Disponível em: <www.bath.ac.uk/mech-eng/ser/embodied/>. Acesso em: 25.05.2013.

HILGENBERG, F. B.. **Sistemas de certificação ambiental para edifícios estudo de caso: AQUA**. Curitiba, 2010. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Construção Civil) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

HEARN, F.. *Ideas that shaped buildings*. Cambridge: The MIT Press, 2003.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: SINAPI, Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil. **Pesquisa Anual da Indústria da Construção: ano base 2009**. IBGE, 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/industria/paic/2009/comentario.pdf>>. Acesso em 26.04.2012.

ISO, *International Organization for Standard*. **ISO 7730: moderate thermal environments: determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the conditions of Thermal Comfort**. Geneva, 2005.

ITO, A.L.Y.. **Gestão da informação no processo de projeto de arquitetura: estudos de caso**. Curitiba, 2007. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Construção Civil) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

JOHN, V.M. **Reciclagem de resíduos na construção civil – contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. São Paulo, 2000. 102p. Tese (livre docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

JUDAH, I.; KAPLAN, D.. *Sustainability and Modernism: Design Research at Cornell NYC. **Docomomo journal***, nº 44, p. 40-47. Barcelona: Fundació Mies Van der Rohe, 2011.

KATIPAMULA, S., CLARIDGE, D.E.. ***Simulation of the Post-Retrofit Thermal Energy Use for the University Teaching Center (UTC) Building with the Use of Simplified System Model***. Energy Systems Laboratory: Austin, 1991.

KOPP, A.. **Quando o moderno não era um estilo e sim uma causa**. São Paulo: Nobel: Edusp, 1990.

KREBS, L.F., BRINO, A.C., HUSEMANN, R., BEYER, P.O.. **Edificação bioclimática: um projeto multidisciplinar mais sustentável para o Vale do Taquari - RS**. Encontro Latinoamericano de Edificações e Comunidades Sustentáveis, 2013.

KUMBAROGLUA, G., MADLENERB, R.. *Evaluation of economically optimal retrofit investment options for energy savings in buildings. **Energy and Buildings***, 49, 2012.

KUSUDA, T.. ***Early history and future prospects of building system simulation***. *Proceedings os the 6th International IBPSA Conference*: Kyoto, 1999.

LACERDA, I.G.. **Diretrizes para reutilização de ancoragem ativa em lajes de edificações verticais de múltiplo uso e/ou pisos industriais protendidos**. Curitiba, 2007. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Construção Civil) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

LARCHER, J.V.M.. **Princípios para expansão de habitações de interesse social sob a ótica dos sistema construtivo**. Curitiba, 2005. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Construção Civil) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

LATORRE, P.E.V.. **Estudo de argamassas para reparos de estruturas de concreto sujeitas à abrasão, em locais de umidade elevada**. Curitiba, 2002. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Construção Civil) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

LEONARDO, C.R.T.. **Estudo de concreto de alto desempenho, visando aplicação em reparos estruturais**. Curitiba, 2002. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Construção Civil) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

LLEÓ, B. *apud VILLALUENGA, Y.G. (dir.). **Se acabó la fiesta**. Radio y Televisión Española*, 2011. Disponível em: <www.rtve.es/alacarta/videos/archivos-tema/archivos-tema-se-acabo-fieta/1269406/> . Acesso em: 02.04.2012

LEVY, S.M. **Reciclagem do entulho da construção civil, para utilização com agregados para argamassas e concretos**. São Paulo, 1997. 147p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

LOBO, A.V.R.. **Proposta de ferramenta de avaliação de sustentabilidade ambiental em edificações hospitalares na região metropolitana de Curitiba**. Curitiba, 2010a. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Construção Civil) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

LOBO, F.H.R.. **Inventário de emissão equivalente do dióxido de carbono e energia embutida na composição de serviço em obras públicas: Estudo de caso no Estado do Paraná**. Curitiba, 2010b. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Construção Civil) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

LORO, C.L.P.. **Avaliação acústica de salas de aula: padrão 023 do Estado do Paraná – Estudo de Caso**. Curitiba, 2003. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Construção Civil) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

MACHADO, C.B.Z.. **O tratamento de aspectos de conforto térmico em residências do período modernista em Curitiba**. Curitiba, 2009. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Construção Civil) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

MARCHESINI, I.. **Análise da influência do mobiliário em MDF no ciclo de vida energético da edificação**: Um estudo sobre a energia embutida no mobiliário de escritórios comerciais. Curitiba, 2013. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Construção Civil) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

_____; RICHTER, K.; OBA, M.; TAVARES, S.. **Análise de ciclo de vida energético de um edifício público existente**: Estudo de caso de um bloco didático do Centro Politécnico após 50 anos de uso. Encontro Latinoamericano de Edificações e Comunidades Sustentáveis. Curitiba, 2013.

MARCOS, M.H.C.. **Análise da emissão de CO₂ na fase pré-operacional em habitações de interesse social, através da utilização de uma ferramenta CAD-BIM**. Curitiba, 2005. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Construção Civil) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

MAZZAROTTO, A.C.E.K.. **Uso do sistema de fachadas duplas ventiladas em edifícios em Curitiba**. Curitiba, 2011. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Construção Civil) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

MEDEIROS, B.L.. **Estruturas subterrâneas de concreto**: levantamento de manifestações patológicas na região metropolitana de Curitiba e análise de sistemas de reparo. Curitiba, 2005. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Construção Civil) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

MENASSA, C.C. *Evaluating sustainable retrofits in existing buildings under uncertainty*. **Energy and Buildings**, 43, 2011.

MONTANER, J.M.. Depois do movimento moderno: Arquitetura da segunda metade do século XX. Barcelona: Gustavo Gili, 2001.

NASCIMENTO, W.C.. **Coberturas verdes no contexto da região metropolitana de Curitiba:** barreiras e potencial de estabelecimento. Curitiba, 2008. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Construção Civil) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

NPS, National Park Service. **Illustrated Guidelines on Sustainability for Rehabilitating Historic Buildings.** Disponível Em:< [Http://Www.Nps.Gov/Tps/Standards/Rehabilitation/sustainability-guidelines.pdf](http://www.nps.gov/tips/standards/rehabilitation/sustainability-guidelines.pdf)>. Acesso em: 25.05.2013.

OLIVEIRA, B.F.. **Fluxos informacionais e necessidades de informação no processo de tomada de decisão na gestão de obras públicas:** um estudo de caso na Secretaria de Estado de Obras Públicas do Paraná. Curitiba, 2009. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Construção Civil) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

OPRURB, Ofícios do Patrimônio e da Reabilitação Urbana. **Carta de Lisboa:** carta de reabilitação urbana integrada. In: I Encontro Luso-Brasileiro de Reabilitação Urbana. Lisboa, 1995. Disponível em: <<http://www.patrimoniocultural.pt/media/uploads/cc/cartadelisboa1995.pdf>> Acesso em: 25.05.2014.

PADUA, C.D.B.. **Arquitetura moderna: um estudo sobre patrimônio e preservação.** Dissertação (Mestrado em História e Fundamentos da Arquitetura e do Urbanismo - FAUUSP). São Paulo, 2013.

PINTO, T.P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana.** São Paulo, 1999. 189p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

POLLOCK, M., RODERICK, Y., MCEWAN, D., WHEATLEY, C.. *Building simulation as an assisting tool in designing an energy efficient buiding: a case study.* **Building Simulation**, 2009.

PRUDON, T.H.M.. *Preservation of Modern Architecture.* Hoboken: John Wiley & Sons, 2008.

PUPPI, I.. **Fatos e Reminiscências da Faculdade: Retrospecto da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Paraná.** Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1986.

RAMESH, T.; PRAKASH,R.; SHUKLA,K.K. *Life cycle energy analysis of buildings: An overview.* **Energy and Building** v. 42, p.1592-1600, 2010.

REDDY, S.N., HUNN, B.D., HOOD, D.B.. **Determination of retrofit savings using a calibrated building energy simulation model.** *Proceedings of the Ninth Symposium on Improving Building Systems in Hot and Humid Climates.* Arlington, 1994.

ROAF, S.. **Ecohouse: a casa ambientalmente sustentável.** Porto Alegre: Bookman, 2006.

_____; TUOHY, P., NICOL, F., HUMPREYS, M., BOERSTRA, A.. *Twenty first Century standards for thermal comfort: promoting high energy buildings. Architectural Science Review*, 2011.

ROCHA, L.S.. **Acústica e educação em música:** estudo qualitativo de critérios acústicos para sala de ensaio e prática de instrumento e canto. Curitiba, 2010. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Construção Civil) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

SANT'ANNA, C.P.. **Plano de conservação de água em edificações de uso turístico:** diretrizes para implementação e gestão para as pousadas de Encantadas – Ilha do Mel/PR. Curitiba, 2010. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Construção Civil) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

SCHMID, A. L.. Simulação da luz natural: combinação dos algoritmos de raytracing e radiosidade e suas aplicações na Arquitetura. **Ambiente Construído 4**, nº 2: 51-59, 2004.

_____; GRAF, H. F.. *Validation of MESTRE Building Simulation System according to Best-Test Multi-Zone, Non-Airflow, In-Depth Diagnostic Cases. In Proceedings of Building Simulation 2011, 12th Conference of the International Building Performance Simulation Association*, 14-16. Sydney, 2011.

SCHMID, M.T.. Professor de Resistência dos Materiais na UFPR desde 1961, comunicação pessoal, 2012.

SEDOVIC, W.; GOTTHELF, J. H.. *What replacement Windows Can't Replace: The Real Cost Of Removing Historic Windows. Journal of Preservation Technology*, 36:4, 2005.

SINDUSCON-SP, Sindicato da Indústria da Construção Civil no Estado de São Paulo; FGV, Fundação Getúlio Vargas. **Emprego na construção cai 3% em dezembro; crescimento médio foi de 6% em 2012.** Disponível em: <<http://www.sindusconsp.com.br/msg2.asp?id=6209>>. Acesso em 21.03.2012.

SOARES, S. R.; PEREIRA, S. W. Inventários da produção de pisos e tijolos cerâmicos no contexto da análise do ciclo de vida. **Ambiente Construído**, v. 4, n.2, p. 83-94, Porto Alegre, 2004.

STRAPASSON, D.C.. **Flexibilidade em Projetos de Edificações de Ensino Superior:** Estudo de caso na UFPR. Curitiba, 2011. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Construção Civil) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

SWIFT, A.. *Inherited Toxicity: An Expanded Concept of Sustainability for Preservation. Docomomo journal*, nº 44, p. 59-70 Barcelona: Fundació Mies Van der Rohe, 2011.

TAGUCHI, M.K.. **Avaliação e qualificação das patologias das alvenarias de vedação na edificações.** Curitiba, 2010. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Construção Civil) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

TAVARES, S.F.. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras**. Florianópolis, 2006. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

TOMLOW, J.. *Building Physics and its Performance in Modern Movement Architecture*. **Docomomo journal**, nº 44, p. 25-32. Barcelona: Fundació Mies Van der Rohe, 2011.

TRELOAR, G.; FAY, R.; ILOZOR, B.; LOVE, P. *Building materials selection: greenhouse strategies for built facilities*. **Facilities**, v.19, n.3/4, PP. 139 – 149, 2001.

TUOHY, P., ROAF, S., NICOL, F., HUMPREYS, M., BOERSTRA, A.. *Twenty first Century standards for thermal comfort: fostering low carbon building design and operation*. **Architectural Science Review**, 2011.

UNESCO, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. **Modern Heritage Properties (nineteenth and twentieth centuries) on the World Heritage List**. UNESCO, 2012. Disponível em: <<http://whc.unesco.org/uploads/activities/documents/activity-38-2.pdf>>. Acesso em: 09.07.2012 .

WANG, S., YAN, C., XIAO, F.. Quantitative energy performance assessment methods for existing buildings. **Energy and Buildings**, 55, 2012.

WEST, J.; ATKINSON, C.; HOWARD, N.. **Embodied Energy and Carbon Dioxide Emissions for Building Materials**. *apud* ROAF, Susan. **Ecohouse: a casa ambientalmente sustentável**. Porto Alegre: Bookman, 2006.

WINCK, S.S.. **Avaliação da atenuação de ruído em diferentes sistemas de admissão de ar externo por ventilação forçada, usada em edificações residenciais**. Curitiba, 2010. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Construção Civil) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

YIN, R.K.. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. Porto Alegre: Bookman, 2005.

YOHANIS, Y. G.; NORTON, B. *Life-Cycle operational and embodied energy for a generic single storey office building in the UK*. **Energy** v.27 p.77-92, 2002.

ZALESKI, C.B.. **Materiais e conforto: um estudo sobre a preferência por alguns materiais de acabamento e sua relação com o conforto percebido em interiores residenciais**. Curitiba, 2006. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Construção Civil) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

ZEIN, R.V.. Pioneiro da Arquitetura Moderna do Paraná. **Revista Projeto**, nº 89, p. 40-47. São Paulo, 1986.

_____. A rosa por outro nome tão doce... seria? In: **Anais do Encontro DOCOMOMO - BRASIL, 7**. Porto Alegre, 2007.

_____.; MARCO, A.R.. Paradoxos do valor artístico e a definição de critérios de preservação na arquitetura, inclusive moderna. **Arquitextos**, nº 098.00, 2008.

Disponível em: <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/09.098/123>. Acesso em: 07.04.2012.

WHO: World Health Organization. World Health Statistics 2014. Italy, 2014. Disponível em: <http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/112738/1/9789240692671_eng.pdf>. Acesso em: 07.04.2012 .

ZWRITES, D.P.Z.. **Avaliação do desempenho acústico de salas de aula:** estudo de caso nas escolas estaduais do Paraná. Curitiba, 2006. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Construção Civil) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

7

7 FONTES DE ILUSTRAÇÕES

BARANOW, Ulf G.; SIQUEIRA, Márcia Dalledone (orgs.). **Universidade Federal do Paraná: histórias e estórias: 1912 - 2007**. Curitiba: Editora da UFPR, 2007.)

DESCONEXO. Lignon_3.png. 2011. Largura: 764 pixels. Altura: 513 pixels. 72 dpi. RGB. 360Kb. Disponível em: <http://3.bp.blogspot.com/-BmQcH1qGWUQ/Tc7FGuXc5pl/AAAAAAAAABZM/e8O0nwp7Q/s1600/Lignon_3.png>. Acesso em 20.05.2012.

GONSALES, C. C.. Conjuntos Habitacionais Brasileiros - CIAM, Team X e Cidade Espontânea. Vitória, 2010. Disponível em: <<http://web3.ufes.br/xishcu/cd-anais/trabalhos/249.pdf>>. Acesso em: 20.08.2012.

GOOGLE EARTH. Imagem referente às coordenadas 25°27'02"S; 49°13'57"O. 2012.

GOULART, S.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S.. Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras – 2. Ed. Florianópolis: Núcleo de Pesquisa em Construção/UFSC, 1998.

LIFE WITHOUT BUILDINGS. 080814_phyllis-wheatly.jpg. 2008. Largura: 530 pixels. Altura: 281 pixels. 72 dpi. RGB. 36Kb. Disponível em: <http://lifewithoutbuildings.net/wordpress/wp-content/uploads/2008/08/080814_phyllis-wheatly.jpg>. Acesso em 21.05.2012.

METMUSEUM. MM86128.jpg. 1995. Largura: 984 pixels. Altura: 768 pixels. 72 dpi. RGB. 336Kb. Disponível em: <<http://images.metmuseum.org/CRDImages/ph/original/MM86128.jpg>>. Acesso em 21.05.2012.

MOMA. JTobias.kitchen-blog-012611.sm_.jpg. Largura: 646 pixels. Altura: 242 pixels. 72 dpi. RGB. 493Kb. Disponível em: <http://www.moma.org/explores/inside_out/inside_out/wp-content/uploads/2011/01/JTobias.kitchen-blog012611.sm_.jpg>. Acesso em 17.08.2013.

NOLA. 9712581-standard.jpg. 2011. Largura: 665 pixels. Altura: 424 pixels. 72 dpi. RGB. 705Kb. Disponível em: <<http://media.nola.com/tpphotos/photo/2011/06/9712581-standard.jpg>>. Acesso em 21.05.2012.